

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a
informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

*Návrh a nastavení ochran pro rozvodnu vn průmyslového
podniku*

*Proposal and Setting of Electric Protections of MV Switching
Station*

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Eduard Beránek**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: **Návrh a nastavení ochran pro rozvodnu vn průmyslového podniku**
Proposal and Setting of Electric Protections of MV Switching Station

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochran a jištění se zaměřením na nadproudové ochrany vedení vn.
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových poměrů.
3. Popis ochran REF615, REU615.
4. Výpočet minimálních zkratových poměrů na rozvodně.
5. Výpočet nastavení ochran na rozvodně vn.
6. Zhodnocení návrhu.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Janíček, F. a kol.: Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. STU Bratislava, 2004.
2. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
3. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
4. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
5. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
6. Firemní literatura a katalogy, technická dokumentace rozvodny vn.

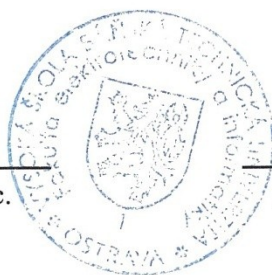
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr.Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce doc. Dr. Ing. Zdeňkovi Medvecovi a oponentovi Ing. Markovi Tinkovi, Ph.D. za poskytnutí podkladů, cenných rad a připomínek k mé práci.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je návrh a nastavení ochran pro rozvodnu vn průmyslového podniku.

V první části práce je uveden teoretický rozbor ochran, ve kterém jsou popsány především nadproudové ochrany a jejich nastavení. Mimo to jsou zde také popsány základní členy ochran, rozdělení a požadavky na ně.

Druhá část se zabývá teoretickým rozbohem výpočtu zkratových proudů a popisuje pravidla pro výpočet zkratových proudů, výpočty parametrů jednotlivých prvků a příklady výpočtů zkratových proudů.

Ve třetí části je uveden základní popis a standardní konfigurace použitých ochran a následně ve čtvrté části je proveden výpočet zkratových poměrů na rozvodně. Výpočet je řešen metodou souměrných složek a postupného zjednodušování.

Poslední část je věnována výpočtu nastavení ochran na rozvodně vn.

Klíčová slova

Ochrana, nadproudová ochrana, zkrat, napětí, proud, zkratový proud, zkratová impedance, zkratový výkon, průmyslový podnik, rozvodna

Abstract

The aim of this master thesis is the proposal and setting of electric protections of MV switching station.

In the first part of thesis is theoretical analysis of protections, which are described mainly overcurrent protections and their setting. Moreover there are also described the basic parts of protections, distribution and requirements.

The second part deals with the theoretical analysis of the calculation of short-circuit currents and describes the rules for the calculation of short-circuit currents, calculations of the parameters of the components and calculations examples of short-circuit currents.

In the third part is basic description and standard configuration of the used protections and then in the fourth part performs a calculation of short-circuit ratios at the substation. The calculation is solved by the method of symmetrical components and gradual simplification.

The final part is devoted to the calculation of protections settings on MV.

Keywords

Electric Protection, Overcurrent Electric Protection, Short-circuit, Voltage, Current, Short-circuit current, Short-circuit Impedance, Short-circuit Power, Industrial Company, Substation

Seznam použitých symbolů a zkratk

c	napěťový součinitel
f	kmitočet (50 Hz nebo 60 Hz)
I	proud (A)
I_k	ustálený zkratový proud (A)
I_k''	počáteční souměrný rázový zkratový proud (A)
I_{th}	ekvivalentní oteplovací zkratový proud (A)
i_p	nárazový zkratový proud (A)
K	impedanční korekční součinitel
m	činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky
n	činitel pro tepelné účinky střídavé složky
R	rezistance, absolutní příp. poměrná hodnota (Ω)
S	jmenovitý průřez vodiče (mm^2)
S_k''	počáteční souměrný rázový zkratový výkon (VA)
T_K	doba trvání zkratového proudu (s)
t_{\min}	minimální doba vypnutí (s)
U	napětí (V)
$U_{(1)}, U_{(2)}, U_{(3)}$	napětí sousledné, zpětné, netočivé složkové soustavy (V)
X	reaktance (Ω)
X_d příp. X_q	synchronní reaktance podélná příp. příčná
X_d'' příp. X_q''	rázová reaktance synchronního stroje (nasycená hodnota), podélná příp. příčná
Z	impedance (Ω)
$Z_{(1)}, Z_{(2)}, Z_{(3)}$	impedance sousledné, zpětné, netočivé složkové soustavy (Ω)
κ	součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu
φ	fázový úhel ($^\circ$)

Dolní indexy

(1)	Sousledná složka
(2)	Zpětná složka
(0)	Netočivá složka
$L1, L2, L3$	Vodiče trojfázové střídavé soustavy

Obsah

ÚVOD	1
1. TEORETICKÝ ROZBOR OCHRAN A JIŠTĚNÍ SE ZAMĚŘENÍM NA NADPROUDOVÉ OCHRANY	2
1.1. ZÁKLADNÍ POJMY	2
1.2. PORUCHOVÉ STAVY ES	2
1.3. TEORIE OCHRAN	3
1.4. ZÁKLADNÍ ČLENY OCHRAN	4
1.5. POŽADAVKY NA OCHRANY	7
1.6. ROZDĚLENÍ OCHRAN	8
1.7. NADPROUDOVÉ OCHRANY	11
1.7.1. Časově nezávislé nadproudové ochrany.....	12
1.7.2. Podpěťové odblokování nadproudových ochran.....	14
1.7.3. Časově závislé nadproudové ochrany	15
2. TEORETICKÝ ROZBOR VÝPOČTU ZKRATOVÝCH PROUDŮ	17
2.1. PŘEDPOKLADY VÝPOČTU	17
2.2. METODA VÝPOČTU	17
2.2.1. Ekvivalentní napěťový zdroj v místě zkratu	17
2.2.2. Použití souměrných složek.....	18
2.3. MAXIMÁLNÍ ZKRATOVÉ PROUDY	19
2.4. MINIMÁLNÍ ZKRATOVÉ PROUDY	19
2.5. POSTUP VÝPOČTU	20
2.6. VÝPOČET PARAMETRŮ PRVKŮ SOUSTAVY	20
2.6.1. Náhradní impedance síťového napáječe (nadřazená síť)	21
2.6.2. Náhradní impedance dvouvinutového transformátoru.....	21
2.6.3. Náhradní impedance trojvinutového transformátoru.....	21
2.6.4. Korekční součinitelé pro impedance dvou- a trojvinutových síťových transformátorů	22
2.6.5. Náhradní impedance synchronního alternátoru	23
2.6.6. Náhradní impedance asynchronního motoru	23
2.6.7. Náhradní rezistance a reaktance vedení	23
2.6.8. Náhradní impedance reaktoru.....	24
2.7. VÝPOČET ZKRATOVÝCH PROUDŮ	24
2.7.1. Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k''	24
2.7.2. Nárazový zkratový proud i_p	25
2.7.3. Ekvivalentní oteplovací proud I_{th}	25
3. POPIS OCHRAN REF615, REU615	27
3.1. OCHRANA REF615	27
3.1.1. Popis výrobku	27
3.1.2. Standardní konfigurace.....	28
3.2. OCHRANA REU615	29
3.2.1. Popis výrobku	29
3.2.2. Standardní konfigurace.....	30
4. VÝPOČET MINIMÁLNÍCH ZKRATOVÝCH POMĚRŮ NA ROZVODNĚ	31
4.1. POPIS ROZVODNY PRŮMYSLOVÉHO PODNIKU	31
4.2. VÝPOČET MAXIMÁLNÍCH ZKRATOVÝCH POMĚRŮ	31
4.2.1. Výpočet parametrů prvků soustavy	32
4.2.2. Náhradní schéma zapojení	35
4.2.3. Postupné zjednodušování.....	35
4.2.4. Výpočet zkratových poměrů	38
4.3. VÝPOČET MINIMÁLNÍCH ZKRATOVÝCH POMĚRŮ.....	38
4.3.1. Výpočet parametrů prvků soustavy	39
4.3.2. Náhradní schéma zapojení.....	40

4.3.3.	Výpočet zkratových poměrů	40
4.4.	SHRNUTÍ.....	41
4.5.	PRŮCHOZÍ ZKRATOVÉ PROUDY	41
4.5.1.	Výpočet parametrů prvků soustavy	41
4.5.2.	Náhradní schéma zapojení.....	43
4.5.3.	Výpočet zkratových poměrů	43
5.	VÝPOČET NASTAVENÍ OCHRAN NA ROZVODNĚ VN.....	44
5.1.	22.12 E RX1 – POLE Č. 6 – PŘÍVOD Z ROZV. 41.03RX1 – POLE Č. 3	44
5.2.	22.12 E RX1 – POLE Č. 5 – REZERVA	47
5.3.	22.12 E RX1 – POLE Č. 4 – TRANSFORMÁTOR TM1	48
5.4.	22.12 E RX1 – POLE Č. 3 – REZERVA	50
5.5.	22.12 E RX1 – POLE Č. 2 – MĚŘENÍ	52
5.6.	22.12 E RX1 – POLE Č. 1 – PODÉLNÁ SPOJKA	54
5.7.	22.12 E RX2 – POLE Č. 2 – MĚŘENÍ	56
5.8.	22.12 E RX2 – POLE Č. 3 – TRANSFORMÁTOR TS1	58
5.9.	22.12 E RX2 – POLE Č. 4 – TRANSFORMÁTOR TM2	59
5.10.	22.12 E RX2 – POLE Č. 5 – REZERVA	61
5.11.	22.12 E RX2 – POLE Č. 6 – PŘÍVOD Z ROZV. 41.03RX2 – POLE Č. 3	62
5.12.	KONTROLA PŘÍVODŮ Z ROZVODEN 41.03RX1 A 41.03RX2 NA OTEPLENÍ PŘI ZKRATU.....	64
ZÁVĚR		65
LITERATURA		66
PŘÍLOHY		67

Úvod

Elektrizační soustava je soubor vzájemně propojených prvků. Všechny tyto prvky jsou silovými články zajišťující výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektrické energie. Nelze ale s přesností určit, jestli tyto prvky budou fungovat spolehlivě.

Vedle normálního provozního stavu se tedy může vyskytnout poruchový stav, což může v důsledku znamenat výpadek elektrické energie. V mnoha případech může takový výpadek způsobit jen nepříjemné starosti. V horších případech může dojít k zastavení provozu a výroby ve velkých průmyslových podnicích, čímž dochází ke značným finančním ztrátám. Dlouhodobý výpadek elektrické energie pak může mít až katastrofální následky.

Takovým situacím se chceme vyhnout, a proto jsou kladeny velké nároky na zabezpečení spolehlivosti dodávek elektrické energie a bezpečný chod zařízení. Jedním ze způsobů, jak předcházet výpadkům elektrické energie je správně navržený systém chránění. Systém chránění tedy tvoří velmi důležitou část elektrizační soustavy a jedna ze součástí systému chránění je elektrická ochrana. Úlohou elektrické ochrany je na základě vstupních informací a nastavených parametrů vyhodnotit, zdali jde o normální provozní stav nebo poruchový stav. V případě detekce poruchového stavu dává ochrana povel k vypnutí, respektive signalizuje abnormální stav obsluze. Od elektrických ochrany se vyžaduje spolehlivé působení a především selektivní vypínání, aby následky poruch byly eliminovány na co nejmenší míru.

V současnosti jsou v popředí především digitální ochrany. Hlavní výhodou digitálních ochrany je jejich spolehlivost a možnost plnit i další úlohy, čímž přispívají k monitorování, ovládání a řízení provozu elektrizační soustavy a jejich prvků v reálném čase.

Pro správný návrh a nastavení ochrany je nutné znát teorii chránění, kterou se zabývají první dvě části této práce. První část je věnována rozboru elektrických ochrany a jsou zde uvedeny základní pojmy, jaké členy ochrany obsahují, jak se dělí a co od nich vyžadujeme. Především jsou v této části popsány nadproudové ochrany. Druhá část se věnuje teoretickému rozboru výpočtu zkratových poměrů.

V praktické části je uveden základní popis použitých ochrany pro chránění v rozvodnách vn průmyslového podniku. Dále je proveden výpočet zkratových poměrů a následuje nastavení ochrany na jednotlivých polích.

1. Teoretický rozbor ochran a jištění se zaměřením na nadproudové ochrany

1.1. Základní pojmy

Spolehlivost a bezporuchový chod patří mezi základní požadavky při provozu elektrizační soustavy (ES). Tyto požadavky nám zajišťují elektrické ochrany. Pro správné nastavování ochran je nutné znát poruchové stavy

1.2. Poruchové stavy ES

V elektrizační soustavě se mohou vyskytnout mimo normálního provozního stavu i takové stavy, které bezprostředně narušují bezpečnost provozu. Takové stavy jsou nežádoucí a nazýváme je poruchami.

V elektrizační soustavě mohou nastat tyto poruchy:

Zkrat - vzniká poruchovým, náhodným nebo úmyslným spojením dvou nebo tří fází a v soustavách s přímo uzemněným uzlem také spojení jedné fáze se zemí. Při zkratu prochází obvodem mnohonásobně větší proud oproti jmenovitým hodnotám. Zároveň dochází k poklesu napětí v takové míře, která je nepřímo úměrná elektrické vzdálenosti od místa zkratu.

Působením zkratových proudů dochází jak ke zvýšenému tepelnému namáhání, tak i ke zvýšenému silovému namáhání elektrických vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení.

Zkrat může vést až k rozpadu chodu elektrizační soustavy.

Zemní spojení - vzniká spojením jedné fáze se zemí v soustavách s izolovaným uzlem, popřípadě v sítích, jejichž uzel je nepřímo uzemněn přes velkou impedanci (například přes zhášecí tlumivku).

Má za následek zvýšení napětí v nepostižených fázích. Při přerušovaném zemním spojení dochází ke vzniku nebezpečných přepětí, čímž se zvyšuje nebezpečí vzniku následných zkratů.

Přepětí - mohou to být atmosférická přepětí (vznikají po úderu blesku do vedení či do nekrytých částí elektrických zařízení) nebo to mohou být přepětí provozní (způsobená spínacími pochody v obvodech s velkou indukčností nebo kapacitami). Důsledkem vzniku přepětí dochází k poškození a stárnutí izolace, možnému proražení izolace a tím vzniku zkratu.

Podpětí - může při konstantním odebíraném výkonu vést k proudovému přetížení. Důsledkem podpětí může být také výpadek točivých strojů.

Přetížení - je způsobeno průchodem příliš velké energie zařízením. Přetížení, neboli zatížení proudem vyšším, než je proud dovolený, má za následek zvýšené tepelné namáhání elektrického vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení. V důsledku zvýšeného tepelného namáhání vodičů může dojít k poškození izolace, čímž se zvyšuje pravděpodobnost vzniku zkratu.

Krátkodobé přetížení nemusí být nebezpečné. Dlouhodobé přetížení je nebezpečné téměř vždy.

Nesouměrné zatížení - provozní stav, při kterém jsou jednotlivé fáze statoru alternátoru (motoru) zatěžovány různým proudem. V důsledku toho vzniká zpětná složka proudu i_2 , která vytváří magnetické pole otáčející se dvojnásobnou úhlovou rychlostí rotoru (v opačném smyslu). V rotoru se indukují vířivé proudy, jejichž průchodem se může rotor nebezpečně zahřívat. Nesouměrnost zatížení může být způsobena přerušením některé fáze nebo nesouměrnost zátěže. [3]

Zvýšení kmitočtu - bývá způsobeno poruchou regulace výkonu. Následkem je silové působení na chráněné zařízení i na připojené stroje.

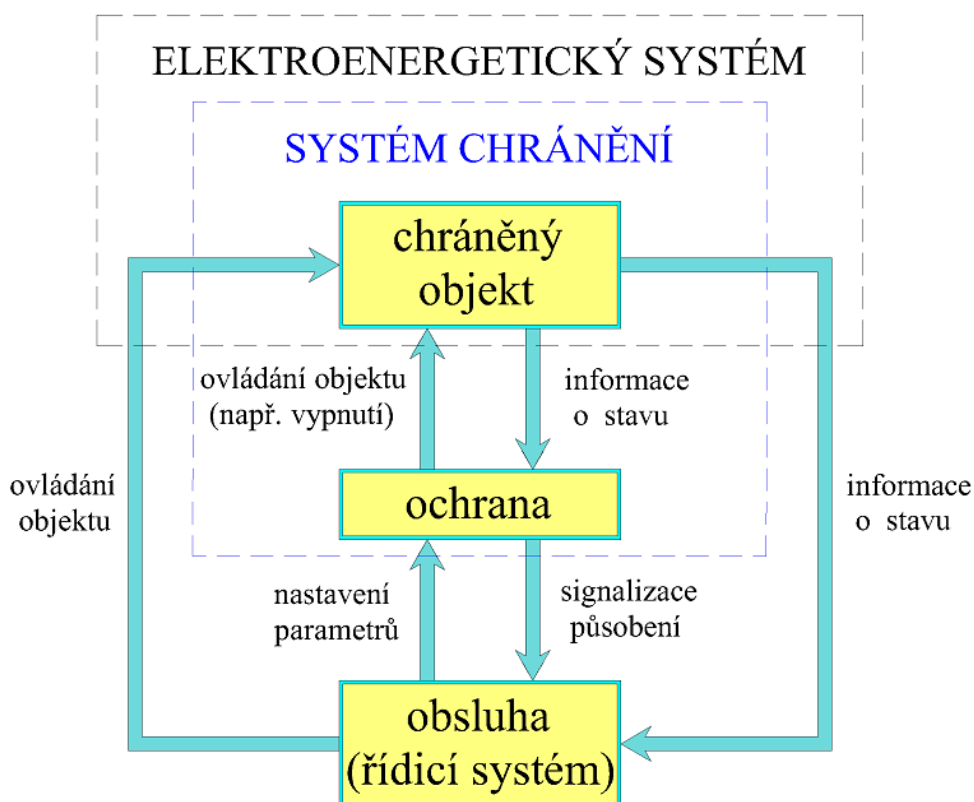
Snížení kmitočtu - signalizuje zpravidla vyšší zatížení zdrojů energie v síti. Znamená to nedostatek výkonu v síti a je nutné snížit spotřebu.

Zpětný tok výkonu - je způsoben ztrátou výkonu pohonu nebo špatnou energetickou bilancí sítě. V podstatě jde o přenos energie z generátoru do turbíny nebo z motoru do sítě a následně může dojít k poškození mechanického stroje.

Asynchronní chod - nastává při ztrátě synchronismu generátorů. Je nebezpečný zejména pro samotné synchronní stroje a turbíny a má za následek také přetěžování spojovacích vedení a transformátorů. [4]

1.3. Teorie ochran

Ochrany mají tedy za úkol ochránit obvod proti poruchovým stavům. Činnost ochrany je schematicky znázorněna na *Obr. 1*



Obr. 1 – Činnost ochrany

Ochrana získává informace o veličinách chráněného objektu z přístrojových transformátorů proudu a napětí, popř. z dalších čidel. Informace průběžně zpracovává a hodnotí, zda jsou v mezích normálního provozního stavu. V opačném případě je detekován poruchový stav a úkolem ochrany je odpojení chráněného zařízení od všech zdrojů. Zároveň ochrana vysílá signál o svém působení obsluze.

Chráněný objekt

Fyzikální zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Mezi tyto fyzikální zařízení, neboli chráněné objekty v ES patří synchronní generátory, transformátory, vedení, asynchronní stroje, reaktory a synchronní kompenzátory. Okamžitou funkci chráněného objektu lze určit pomocí stavových veličin (např. napětí, proud, okamžitý výkon, okamžitý kmitočet), jejíž velikost charakterizuje současné chování objektu. Ovládání objektu je soubor zařízení, přes které působí ochrana na objekt (jsou to vypínače, odbuzovače, uzávěry páry atd.).

1.4. Základní členy ochran

Ochrana se skládá z několika částí. Kolik jich bude, však závisí na typu ochrany, složitosti jejího algoritmu a požadované funkci. Mezi základní části patří:

- vstupní člen, popudový člen, měřicí člen, logika, koncový člen, časový člen, napájecí člen, filtry souměrných složek.

Vstupní člen - převádí vstupní signál na zpracovatelný tvar a úroveň (např. na napětí nebo proud chráněného objektu). Jmenovité vstupní hodnoty ochran jsou 100 V a 5 A, 1 A, 0,2 A nebo 150 mV pro senzory. Tyto veličiny jsou přiváděny na vstupní svorky ochran z měřicích transformátorů nebo senzorů napětí a proudu a jsou zpracovány na úroveň voltů a ampérů pro potřeby měřicího členu (zpravidla pomocí děličů napětí, bočníků a převodních transformátorů). Vstupní členy digitálních ochran jsou tvořeny A/D převodníky. Tyto převodníky provedou vzorkování a následné kvantování vstupního signálu, čímž se převede analogový signál na diskrétní.

Popudový člen - zajišťuje rozběh ochrany. V případě vzniku poruchy podává popudový člen signál měřicímu členu a logice ochrany. Zda ale ochrana zapůsobí, rozhodne až logika a měřicí člen ochrany, popud pouze zaručí rozběhnutí těchto obvodů. Popudový člen se v podstatě neliší od měřicího členu ani konstrukcí ani funkcí. Avšak má vyšší citlivost než měřicí člen.

Měřicí člen - Rozhoduje, zdali je chráněný objekt v poruchovém nebo normálním stavu. Vlastnosti většiny ochran jsou závislé na měřicím členu. Je to například selektivita, nařiditelnost, citlivost a přesnost. Je zřejmé, že rozdíl mezi měřicím členem napěťové či proudové ochrany není podstatný. Mají společný znak, že měří amplitudu střídavého napětí či proudu. Proto je vhodné analyzovat měřicí členy nikoliv podle měřené fyzikální veličiny, ale podle charakteru funkce.

Rozeznáváme dva základní typy měřicích členů:

- amplitudový měřicí člen,
- součinnový měřicí člen měřicí fázi mezi dvěma vstupními veličinami.

Z těchto dvou základních měřicích členů jsou odvozeny další čtyři měřicí členy (závislý člen, rozdílový člen, amplitudový komparátor a fázový komparátor).

Amplitudový měřicí člen

Amplitudový měřicí člen měří velikost vstupního proudu nebo napětí. Při překročení nastavené velikosti veličiny působí (ve výstupu měřicího členu se objeví signál). Podle měřené veličiny dále dělíme tento člen na čtyři typy měřicích amplitudových členů:

a) Střídavý amplitudový člen na střední hodnotu

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (1.1)$$

kde K – nastavitelná citlivost měřicího členu,
 T – doba periody měřené veličiny $x(t)$,
 $x(t)$ – měřená veličina (proud nebo napětí).

Měřicí člen působí, je-li výraz na pravé straně rovnice (1.1) větší než citlivost K .

b) Střídavý amplitudový člen na efektivní hodnotu

$$K^2 = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (1.2)$$

c) Stejnoseměrný amplitudový měřicí člen

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (1.3)$$

d) Amplitudový měřicí člen na maximální hodnotu

$$K = \max[x(t)] \quad (1.4)$$

Amplitudové měřicí členy mohou být přímo použity pro měření:

- proudu (v nadproudových ochranách),
- napětí (v napěťových ochranách),
- výkonu (je-li předřazen převodník výkonu),
- velikosti souměrných složek napětí a proudu (je-li předřazen filtr souměrných složek).

Závislý měřicí člen

Zjišťuje velikost proudu nebo napětí v závislosti na době trvání poruchy.
Pro $x(t) = x$ konstantní, má rovnice členu tvar:

$$\begin{aligned} (x - x_\infty)^n \cdot t &= K \\ t &= \infty \quad \text{pro } x \leq x_\infty \\ t &= \frac{K}{(x - x_\infty)} \quad \text{pro } x > x_\infty \end{aligned} \quad (1.5)$$

Závislé měřicí členy používáme všude tam, kde vstupní veličina nepoškozuje chráněný objekt přímo svojí velikostí, ale akumulací energie během trvání poruchy. Vybavujeme jimi závislé proudové ochrany proti přetížení.

Rozdílový měřicí člen

Porovnává amplitudu dvou vstupních veličin $x_a(t)$ a $x_b(t)$. Působí, je-li hodnota $x_a(t)$ větší než hodnota $x_b(t)$ o nastavenou hodnotu K . Pro rozdílový člen na střední hodnotu platí rovnice:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x_a(t) - x_b(t)| dt \quad (1.6)$$

Amplitudový komparátor

Je zvláštním typem rozdílového měřicího členu s velkou citlivostí $K \rightarrow 0$.
Rovnice tohoto členu je:

$$0 = \frac{1}{T} \int_0^T |x_a(t) - x_b(t)| dt \quad (1.7)$$

Součinnový měřicí člen

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x_a(t) \cdot x_b(t) dt \quad (1.8)$$

Pro harmonický průběh vstupních veličin $x_a(t) = X_a \cdot \sin \omega t$, $x_b(t) = X_b \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ dostáváme po dosazení do rovnice (1.8)

$$K = X_a \cdot X_b \cdot \cos \varphi \quad (1.9)$$

Jsou-li vstupními veličiny napětí a proud, měří součinnový člen činný výkon.

$$K = P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (1.10)$$

Součinnový člen se používá ve wattových a jalových ochranách.

Fázový komparátor

Je to v podstatě součinnový měřicí člen s velkou citlivostí $K \rightarrow 0$.

Logika - má za úkol zpracovávat signál z popudu a určit blíže funkci měřicího členu. Na základě signálu z měřicího členu pak dává pokyn koncovému členu. Všechny vstupy i výstupy logiky jsou tvořeny základními logickými funkcemi Booleovy algebry.

V ochraně se použije takový typ logického členu, který odpovídá technologii výroby ochrany.

Koncový člen - funkcí koncového členu je upravit signál logiky tak, aby byl schopen provést prostřednictvím vypínače vypnutí chráněného objektu a současně signalizovat vznik poruchy obsluze (signál musí mít dostatečnou úroveň a musí být odolný vůči rušení).

Časový člen - zajišťuje prodloužení doby působení ochrany. Časový člen je ovládán signálem z logiky ochrany. Používá se zejména z těchto důvodů:

- zajištění selektivity (zpožděním ochrana umožňuje funkci jiné ochrany, která je blíže k místu poruchy),

- využití možné akumulace energie v objektu (zpožděním může ochrana umožnit přetížení, pokud toto přetížení neohrozí chráněný objekt),
- vyloučení chybného působení ochrany, které je způsobeno přechodnou poruchou krátkého trvání.

Napájecí člen - napájí obvody dílčích částí ochran, které pro svoji činnost potřebují pomocný zdroj energie. Ochrany podle závislosti na zdroji energie dělíme několika způsoby:

- ochrany bez napájení (nepotřebují pro svoji činnost pomocný zdroj energie),
- přímé napájení ze staniční akumulátorové baterie. Jedná se o nejpoužívanější zdroj napájení, neboť při pravidelné údržbě akumulátorové baterie je spolehlivost zaručena,
- ochrany napájené z přístrojových transformátorů. Používá se pouze u ochran, kde není možné použít staniční baterie,
- napájení ze střídavé sítě (z vlastní spotřeby elektrické stanice). Kvůli nižší spolehlivosti se ale tento způsob nevyužívá.

Elektronické a digitální ochrany jsou napájené ze staniční akumulátorové baterie přes stabilizátor napětí.

Filtry souměrných složek - souměrné složky proudu a napětí jsou důležité stavové veličiny objektu. Podle jejich velikosti lze určit, o jaký druh poruchy se jedná.

[3] [4]

1.5. Požadavky na ochrany

Provoz elektrizační soustavy klade na ochrany určité požadavky, které by se měly dodržet. Vhodnost ochrany pro daný chráněný objekt posuzujeme podle toho, jak ochrana splňuje jednotlivé požadavky. Nemůžeme ale určit který z požadavků je důležitější, aniž bychom věděli, jaký objekt bude ochrana chránit.

Rychlost ochran - je dána dobou působení. Při poruchovém stavu je důležité rychle odpojit porušenou část soustavy. Včasným zapůsobením ochrany se dá předejít většímu rozsahu poškození. Rychlé vypnutí má také příznivý vliv na stabilitu soustavy. Nejrychlejší ochrany vypnou za $0,02 \div 0,04$ s. Celková doba je ovšem o něco delší, protože musíme připočítat i vypínací dobu výkonových vypínačů (rozpojení kontaktů a zhasnutí oblouku mezi kontakty), což je dalších $0,05 \div 0,06$ s.

Spolehlivost funkce - znamená, že při poruchovém stavu nesmí ochrana selhat. Ale naopak při normálním provozním stavu nesmí samovolně zareagovat. Ochrana by tedy měla být co nejjednodušší, aby mohla odolávat agresivním vlivům prostředí, otřesům, změnám teplot, vnějším magnetickým a elektrickým polím (náhrada mechanických částí elektrickými a elektronickými prvky obvodů).

Citlivost ochran - je schopnost reagovat na poruchy vyskytující se pouze na chráněném úseku, na které je ochrana navržena. Veličina, při které ochrana reaguje, musí být nižší než hodnota poruchové veličiny. Tak například nadproudová ochrana spíná při proudu I_r . V místě, kde bude nadproudová ochrana instalována, dosahuje zkratový proud hodnoty I_{kmin} . Koeficient citlivosti:

$$k_c = \frac{I_{kmin}}{I_r} \quad (1.11)$$

k_c se pohybuje v rozmezí 1,5 – 2. Menší hodnota než 1,5 se nedoporučuje s ohledem na bezpečné působení ochrany. Někdy se nadproudová ochrana kombinuje s podpětovým článkem, jelikož při zkratu dochází nejen ke zvýšení proudu, ale také k poklesu napětí. Na druhé straně přílišná citlivost ochrany se rovněž nedoporučuje. Ochrana musí být necitlivá k různým provozním stavům (kývání v síti, zapínání transformátorů, rozběh velkých motorů). [5]

Přesnost ochran - je poměrná chyba citlivosti ochran vyjádřená v procentech.

$$p = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.12)$$

kde p – přesnost elektrické ochrany,
 x – nastavená citlivost ochrany,
 x_a – rozsah možného nastavení ochrany,
 x_b – skutečná citlivost ochrany.

Nařiditelnost ochran - rozsah všech hodnot měřené nebo stavové veličiny, na které lze nastavit citlivost ochrany.

Selektivita ochran - znamená schopnost ochrany zapůsobit pouze v té části soustavy, kde vznikla porucha. Smysl selektivity spočívá ve vypnutí co nejmenšího úseku elektrizační soustavy postižené poruchou, čímž se zmenšuje pravděpodobnost ztráty stability ES.

Selektivitu lze zajistit časovým odstupňováním působení ochran, odstupňováním úrovně nastavené veličiny nebo směrovým nastavením ochran.

1.6. Rozdělení ochran

Ochrany můžeme třídit podle různých kritérií:

1. Podle typu chráněného objektu

- | | |
|--------------------------|-------------|
| - generátoru | - motoru |
| - transformátoru | - přípojnic |
| - vedení | - odporníku |
| - kondenzátorová baterie | - kabelu |

2. Podle druhu poruchy

- | | |
|----------------------|---------------------------|
| - zkratová | - na přetížení |
| - podpětová | - přepětová |
| - podfrekvenční | - nadfrekvenční |
| - při zemním spojení | - při zpětném toku výkonu |
| - při ztrátě buzení | - při nesouměrnosti |

3. Podle doby působení

- a) časově závislé (má dobu působení závislou na velikosti měřené veličiny),
- b) časově polozávislé (kombinace s nezávislou charakteristikou),
- c) časově nezávislé (konstantní doba působení, předem nastavená),
- d) mžikové (působí okamžitě po vzniku poruchy).

ad a) *Závislá ochrana* má charakteristiku definovanou takto

$$t = \frac{K}{(i - i_{\infty})^n} \quad \text{pro } i > i_{\infty}; \quad t = \infty \quad \text{pro } i \leq i_{\infty} \quad (1.13)$$

ad b) *Polozávislá ochrana* má charakteristiku definovanou

$$t = \frac{K}{(i - i_{\infty})^n} \quad (1.14)$$

jen do velikosti proudu i_0 . Pro větší proudy $i > i_0$ už nezkracuje dobu působení

ad c) *Nezávislá ochrana* působí v nastaveném čase t_k při dosažení proudu i_k . Doba působení nezávisí na velikosti proudu $i > i_k$.

ad d) *Mžiková ochrana* je v principu nezávislá ochrana, která působí při překročení nastaveného proudu i_k bez zpoždění.

4. Podle principu činnosti

- | | |
|--------------|---------------------|
| - proudová | - napěťová |
| - distanční | |
| - rozdílová | - srovnávací |
| - wattová | - jalová |
| - frekvenční | - při nesouměrnosti |

5. Podle konstrukce

- a) elektromechanické
- b) elektronické
- c) digitální

ad a) *Elektromechanická ochrana* je soubor jisticích elektromagnetických relé, který elektricky a mechanicky spolupracuje. Proto jsou označovány elektromechanické ochrany jako klasické. Mají pohyblivé části. Vývojově patří k nejstarším typům ochran.

ad b) *Elektronické ochrany* jsou analogové ochrany, které pracují na bázi polovodičových součástek (integrovaných obvodů). Nemají pohyblivé části, a proto se často nazývají statickými ochranami.

V porovnání s elektromechanickými ochranami mají elektronické ochrany několik výhod:

- kratší operační časy,
- vyšší přesnost,
- lepší přizpůsobení charakteristiky k potřebám chráněného objektu,
- menší požadavky na údržbu,
- umožňují realizaci složitějších algoritmů,
- nižší vlastní spotřebu,
- delší životnost.

K nevýhodám patří:

- nízká odolnost polovodičových součástek proti indukovanému napětí, které vzniká při poruchách silnoprůdových zařízení,
- potřeba tepelné stabilizace elektronických obvodů.

ad c) *Digitální ochrany* – výpočetní technika se s postupem času vyvíjí a hlavní důvod použití mikropočítačů v elektrických ochránách nebyl jen ve spolehlivosti plnění úloh běžně žádaných od klasických ochranných ale také ve zdokonalení jejich funkcí, jako např. přesnost, selektivita, komplexnější zpracování vstupních veličin, a také zvýšení uživatelského komfortu.

Postupně se s vývojem výpočetní techniky digitální ochrany zdokonalují v konstrukčním a programovém vybavení. Stávají se cenově dostupnější. Digitální ochrany umožňují plnit i další úlohy, čímž přispívají k monitorování, ovládání a řízení provozu ES a jejich prvků v reálném čase.

6. Podle funkce

- základní (hlavní ochrana)
- záložní (nahrazuje funkci základní ochrany v případě jejího selhání)

7. Podle připojení k chráněnému objektu

- primární (ochrana, která pracuje bez přístrojových transformátorů)
- sekundární (ochrana je připojena k objektu přes přístrojové transformátory nebo senzory).

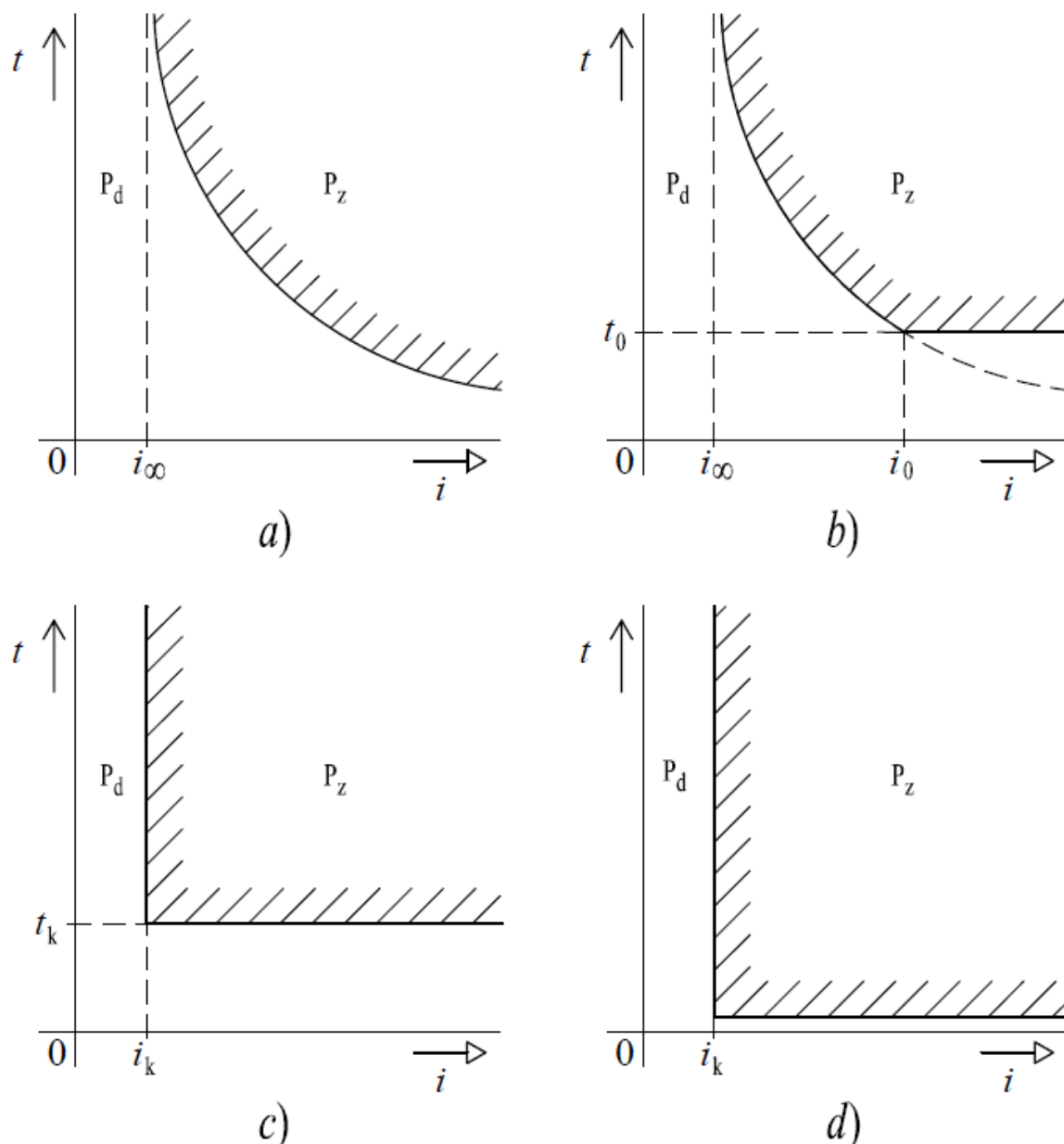
[3][7]

1.7. Nadproudové ochrany

Nadproudové ochrany pracují s časovým zpožděním a nejsou tedy vhodné pro rychlé vypínání. Proto se projektují u méně důležitých vedení nebo jako ochrany záložní. Nejsou tak selektivní jako ochrany distanční nebo rozdílové. Jsou však používány především pro svou jednoduchost.

Princip použití těchto ochran je dán tím, že při přetížení nebo zkratu dojde ke zvětšení proudu procházejícím chráněným objektem. Nadproudová ochrana reaguje na překročení nastavené hodnoty rozběhového proudu a dává povel k vypnutí.

Z hlediska doby působení rozeznáváme nadproudové ochrany dle Obr. 2.



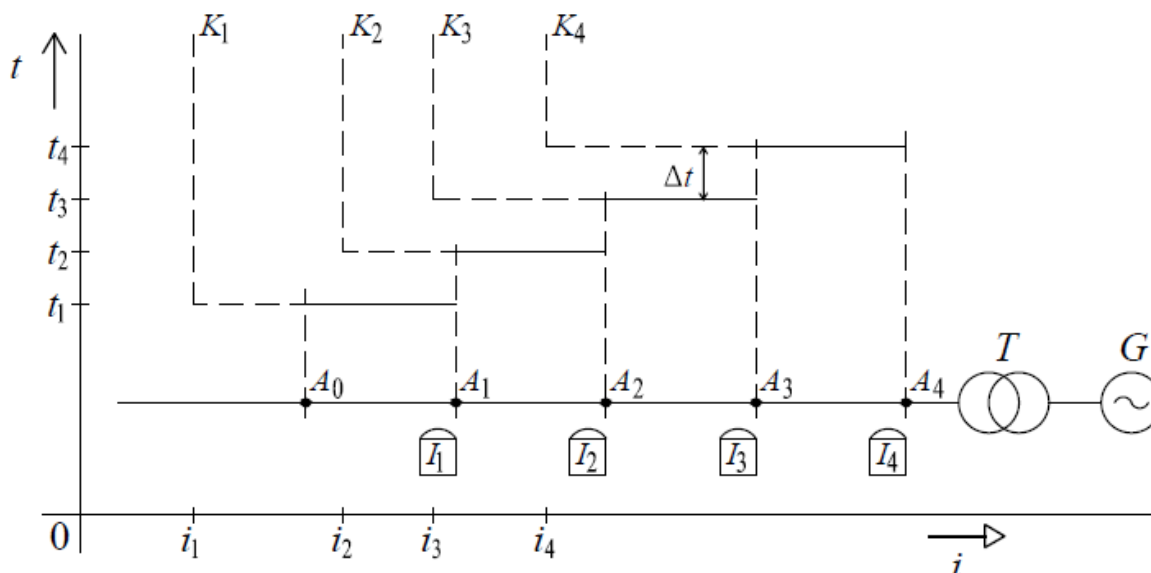
Obr. 2 – Charakteristika nadproudových ochran:

a) závislá, b) polozávislá, c) nezávislá – časová, d) nezávislá – mžiková

Pozn.: P_z = zakázané pásmo; P_d = dovolené pásmo

1.7.1. Časově nezávislé nadproudové ochrany

Nejčastější uplatnění časově nezávislých nadproudových ochran je v paprskových (radiálních) sítích. V radiálních sítích, kde je mnoho sekcí v sérii, není velký rozdíl mezi zkratovými proudy sousedních sekcí. Velikost proudu i_k tedy není dostatečným kritériem polohy zkratu a proto je nutné volit časové odstupňování dle Obr. 3. Aby nedošlo k překrytí jednotlivých ochran a tím k neselektivnosti, volíme dostatečný koordinační časový interval Δt .



Obr. 3 – Nadproudové ochrany s nezávislou vypínací charakteristikou [10]

Hlavní nevýhodou je, že nejtěžší zkraty (největší zkratové proudy), které jsou blíže ke zdroji, jsou vypínány nejpozději. Naopak výhodou je, že vhodným proudovým a časovým nastavením se ochrany vzájemně zálohují.

1.7.1.1. Výpočet nastavení rozběhového proudu

Na vývodu vedení budeme předpokládat primární proudové hodnoty. Pro správné nastavení rozběhových proudů I_r vývodu vedení potřebujeme znát především hodnoty zkratových proudů, velikosti dovolených proudů a jmenovitý proud. Velikost zkratového proudu závisí na konfiguraci sítě a výkonů zdrojů, které v daném okamžiku pracují do soustavy. Z tohoto důvodu potřebujeme znát maximální I''_{kmax} a minimální zkratový proud I''_{kmin} , který se může vyskytnout v místě připojení ochrany. Velikost těchto proudů zjišťujeme výpočtem dle normy ČSN EN 60909, který je uveden dále v kapitole 2. Nastavení ochran musí zabezpečit selektivní vypnutí všech druhů poruchových stavů.

Vedení se jmenovitým proudem I_n , vzhledem k zásobované oblasti, může být trvale zatížené maximálním dovoleným provozním proudem $I_{pmax} \leq I_n$.

Před nastavením rozběhového proudu I_r musíme také zohlednit, že nadproudové ochrany nesmí reagovat na hodnoty proudů I_{zM} , což je záběrný proud motoru a I_{zoz} , což je proudový náraz při opětovném zapínání. Jsou to krátkodobé proudové přetížení:

$$I_{zM} = k_{zM} \cdot I_{pmax} \quad (1.15)$$

$$I_{zOZ} = k_{zOZ} \cdot I_{pmax} \quad (1.16)$$

kde k_{zM} – součinitel záběru od motorů,
 k_{zOZ} – součinitel nárazu po beznapěťové pauze OZ.

Hodnoty těchto součinitelů jsou vždy vyšší jako jedna a na jejich velikost má vliv charakter zátěže, která je napájena chráněným vývodem vedení. Po zobecnění dostáváme vztah:

$$I_{zmax} = k_z \cdot I_{pmax} \quad (1.17)$$

Je zřejmé, že pro rozběhový proud I_r a návratový proud I_0 platí tyto podmínky:

$$\begin{aligned} I_{zmax} &< I_r < I_{kmin}'' \\ I_{zmax} &< I_0 \\ I_0 &< I_r \end{aligned} \quad (1.18)$$

Dále můžeme napsat:

$$I_0 \geq k_b \cdot I_{zmax} = k_b \cdot k_z \cdot I_{pmax} \quad (1.19)$$

kde k_b – koeficient bezpečnosti (volí se v rozmezí 1,1 až 1,35).

Rozběhový proud I_r se vypočítá následovně:

$$I_r \geq I_{pmax} \cdot \frac{k_b}{k_p \cdot p_i} \quad (1.20)$$

kde k_p – přídržný poměr ochrany a bývá uveden výrobcem v rozmezí 0,85 až 0,95,
 p_i – jmenovitý převod proudových transformátorů.

Dále je třeba zjistit hodnotu rozběhového proudu I_r , která bude menší než nejmenší očekávaný zkratový proud na konci chráněného úseku. Aby ochrana spolehlivě naběhla i při nejmenším možném zkratovém proudu (v sítích vn, které jsou u nás zpravidla provozovány izolovaně, je to dvoupólový zkrat), musí být splněna podmínka:

$$I_r < \frac{I_{kmin}''}{k_c \cdot p_i} \quad (1.21)$$

kde k_c – koeficient citlivosti (volí se na základě praktických zkušeností nejméně 1,5).

1.7.1.2. Stanovení koordinačního časového intervalu Δt

Při návrhu časového odstupňování ochran se stanoví koordinační časový interval Δt (stupeň časové selektivity) rozdílem časového zpoždění ochran dvou sousedních úseků. S návrhem časování se začíná od konce úseku vedení směrem ke zdroji.

$$\Delta t = t_n - t_{(n-1)} \quad (1.22)$$

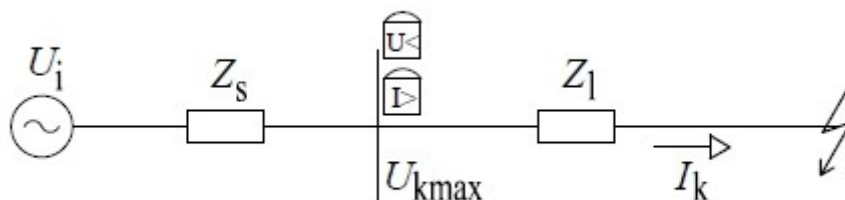
Velikost stupně časové selektivity Δt je určena:

- absolutními chybami časových členů ochran předcházejícího a následujícího úseku,
- dobou vypnutí výkonových vypínačů předcházejícího úseku,
- záložním bezpečnostním časem, který se volí cca 0,1 s.

V praxi bývá Δt v rozmezí 0,2 až 0,5 s podle typu vypínačů a ochran.

1.7.2. Podpět'ové odblokování nadproudových ochran

Selektivitu nadproudových nezávislých ochran můžeme zlepšit odblokováním při rozběhu podpět'ovou ochranou. Klesne-li tedy napětí v místě připojení nadproudové ochrany pod nastavenou hodnotu, ochrana dává povel k vypnutí. Pokles napětí je závislý na vzdálenosti zkratu.



Obr. 4 – Podpět'ové odblokování

Nastavení působení podpět'ové ochrany je teoreticky určeno dle vztahu:

$$U_r \leq \left| \frac{Z_l}{Z_l + Z_s} \right| \cdot U_i \quad (1.23)$$

kde U_r – rozběhová hodnota při zkratu na konci chráněného úseku o impedanci Z_l ,
 Z_s – náhradní impedance napájecí soustavy,
 U_i – vnitřní napětí náhradního zdroje soustavy.

Rozběhové napětí podpět'ové ochrany musí splňovat tyto podmínky:

1. Ochrana nesmí působit při minimálním napětí v místě jejího připojení:

$$U_r < \frac{U_{\min} \cdot k_p}{k_b \cdot p_n} \quad (1.24)$$

kde k_b – koeficient bezpečnosti (doporučuje se 1,1 až 1,2),
 p_n – převod transformátoru napětí.

Pro splnění této podmínky musí být rozběhové napětí menší jako minimální pracovní napětí U_{\min} a současně se podpět'ová ochrana musí po odstranění poruchy vrátit do normálního stavu.

2. Ochrana musí spolehlivě reagovat při zkratech po celé délce chráněného úseku vedení:

$$U_r < \frac{U_{kmax} \cdot k_c}{p_n} \quad (1.25)$$

kde k_c – koeficient citlivosti ($k_c \geq 1,5$),
 U_{kmax} – největší zbytkové napětí v místě připojení ochrany při zkratu na konci chráněného úseku vypočtené pro nejnepříznivější provozní stav.

V praxi se podpětíové ochrany používají výhradně u krátkých zatížených vedení. Nadproudové ochrany s blokováním na podpětí totiž nepůsobí při přetíženích, která nejsou doprovázena snížením napětí. Proto jsou více citlivé na zkratové proudy, než obyčejné nadproudové ochrany.

[9]

1.7.3. Časově závislé nadproudové ochrany

Hlavní výhodou časově závislých nadproudových ochrany oproti nezávislým je především v tom, že podstatně zkracují dobu vypnutí na začátku vedení. Těžší zkraty, které jsou blíže ke zdroji, jsou tedy vypínány v kratším čase. Vypínací charakteristika není konstantní, má tvar hyperboly (*Obr. 5*). Pro porovnání je zde zakreslena i charakteristika odpovídající časově nezávislým nadproudovým ochranám (čerchovaně).

Zkratový proud ochrany na začátku vedení je:

$$i_z = \left| \frac{u_i}{z_s} \right| \quad (1.26)$$

a na konci:

$$i_k = \left| \frac{u_i}{z_s + z_l} \right| \quad (1.27)$$

kde z_l – impedance vedení,
 z_s – impedance zdroje.

Předpokládáme-li zjednodušení vypínací charakteristiky:

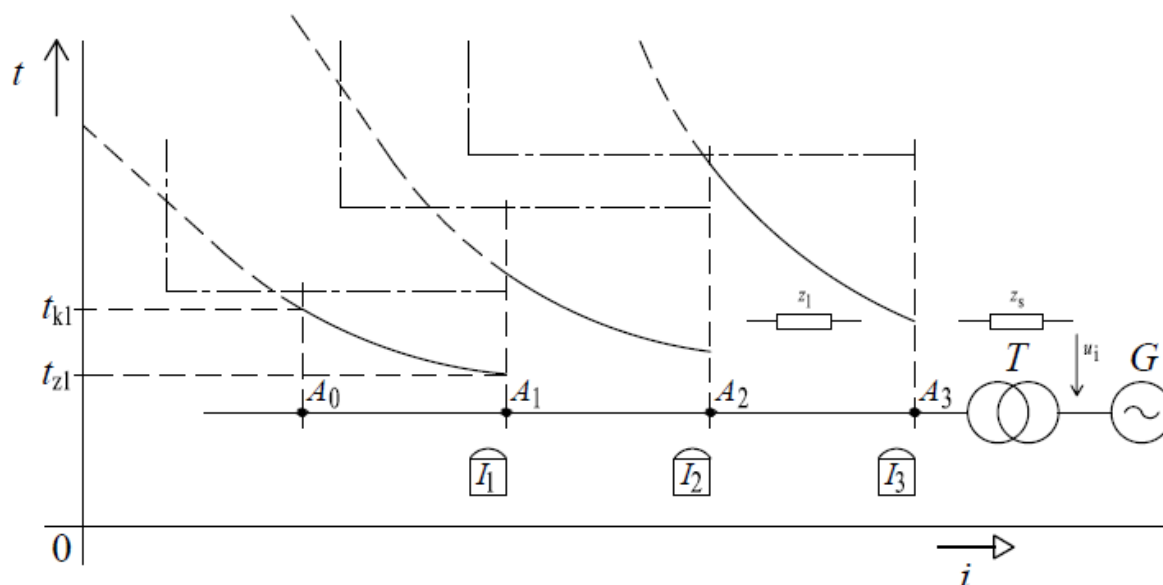
$$t = \frac{K}{i} \quad (1.28)$$

$$t_z = K \cdot \left| \frac{z_s}{u_i} \right| \quad (1.29)$$

$$t_k = K \cdot \left| \frac{z_s + z_l}{u_i} \right| \quad (1.30)$$

Poměr doby vypnutí zkratu na začátku a na konci vedení:

$$\frac{t_z}{t_k} = \left| \frac{z_s}{z_s + z_l} \right| \quad (1.31)$$



Obr. 5 – Nadproudové ochrany se závislou vypínací charakteristikou [10]

I vypínací charakteristiky sousedních závislých ochran je nutné časově odstupňovat o interval Δt , abychom dosáhli požadované selektivity a vzájemného zálohování ochran.

Všeobecně se nedoporučuje kombinace časově závislých a nezávislých nadproudových ochrann. Mohlo by docházet k prolínání vypínacích charakteristik, což by mělo za následek neselektivní vypínání. Z těchto důvodů se u nás používají nejčastěji časově nezávislé nadproudové ochrany, kde je přesně definován čas vypnutí a nemění se s proudem.

2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů

Metodika výpočtu zkratových poměrů v trojfázových střídavých soustavách vychází z platné normy ČSN EN 60909-0. Podle této normy můžeme počítat zkratové poměry v trojfázových střídavých soustavách nízkého, vysokého, velmi vysokého a zvláště vysokého napětí při jmenovitém kmitočtu 50 Hz nebo 60 Hz.

Soustavy s nejvyššími napětími 550 kV a vyššími s dlouhými přenosovými vedeními potřebují zvláštní postupy. [1]

Zkratové proudy počítáme buď pro volbu a dimenzování elektrického zařízení na jejich účinky, nebo pro volbu a nastavení ochran ve zkratovém obvodu.

2.1. Předpoklady výpočtu

Pro výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů v rozsáhlých sítích uvažujeme následující zjednodušení:

- Po dobu trvání zkratového proudu se nemění druh zkratu, tj. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým a zkrat mezi fází a zemí zůstává po celou dobu zkratu zkratem mezi fází a zemí,
- během trvání zkratu nedochází v síti k žádným změnám,
- uvažují se impedance transformátoru pro základní polohu přepínače odboček. To je tolerováno, protože je zaveden korekční součinitel pro impedance síťových transformátorů K_T ,
- odpory oblouků se neuvažují,
- všechny kapacity vedení, paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě.

Takto provedené výpočty vykazují dostatečnou přesnost, avšak neodpovídají zcela přesně dané skutečnosti. Pokud se zkratové proudy počítají v soustavách s rozdílnými hladinami napětí, je nezbytné přepočítat hodnoty impedancí na napěťovou hladinu, ve které se má určit zkratový proud.

2.2. Metoda výpočtu

2.2.1. Ekvivalentní napěťový zdroj v místě zkratu

Tato metoda spočívá v zavedení ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu. Ten je jediným aktivním napětím soustavy. Všechny ostatní síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazeny svou vnitřní impedancí.

Ekvivalentní napěťový zdroj se použije ve všech případech k určení zkratového proudu v místě zkratu F. Je možné vynechat provozní údaje o odběrech, o poloze přepínače odboček transformátorů, buzení generátorů, atd.; tímto odpadají výpočty toků výkonů v různých stavech před zkratem.

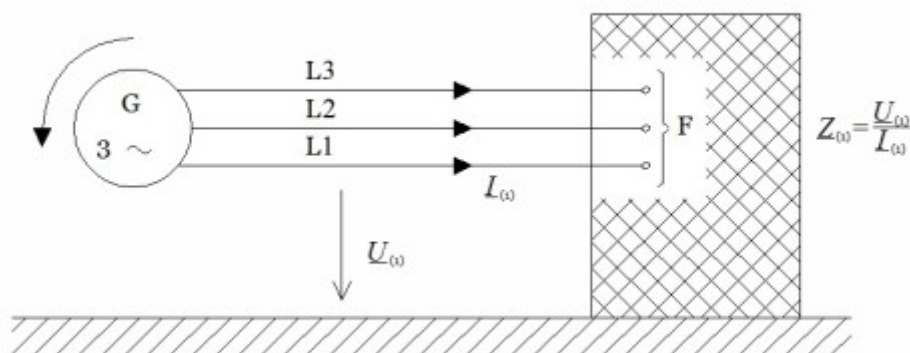
2.2.2. Použití souměrných složek

Pro souměrné a nesouměrné zkraty je vhodné počítat zkratové proudy pomocí metody souměrných složek. Předpokládá se přitom, že elektrické zařízení má symetrickou strukturu, například v případě transponovaných venkovních vedení. Výsledky výpočtu zkratových proudů mají přijatelnou přesnost také i v případě netransponovaných venkovních vedení.

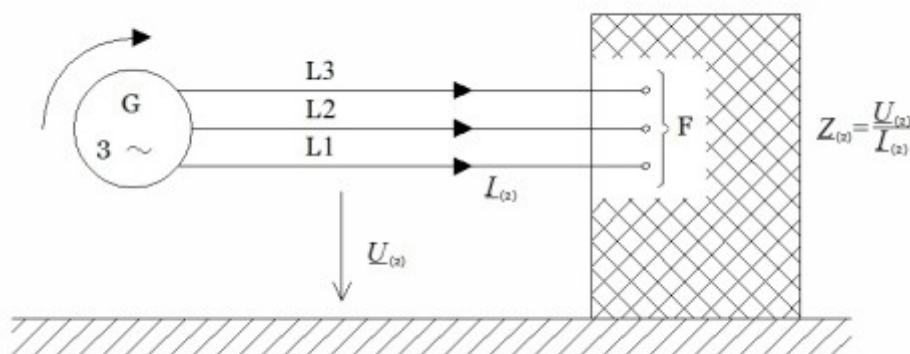
Při použití této metody se zjistí proudy v každé fázi superponováním proudů tří souměrných složkových soustav:

- proud sousledné složkové soustavy $\underline{I}_{(1)}$,
- proud zpětné složkové soustavy $\underline{I}_{(2)}$,
- proud netočivé složkové soustavy $\underline{I}_{(0)}$.

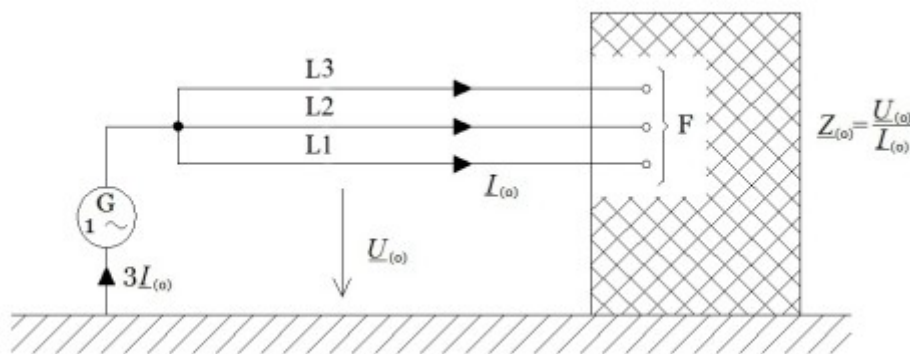
Každá z těchto tří souměrných složek soustavy má svoji vlastní impedanci. Složkové impedance prvků se určí při napájení jednotlivých prvků zdroji se souslednou (Obr. 6), zpětnou (Obr. 7) a netočivou (Obr. 8) soustavou napětí.



Obr. 6 - Sousledná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(1)}$ [1]



Obr. 7 - Zpětná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(2)}$ [1]



Obr. 8 - Netočivá složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(o)}$ [1]

Je nutné rozeznávat mezi zkratovými impedancemi v místě zkratu F a zkratovými impedancemi každého elektrického zařízení.

Při výpočtu nesouměrných zkratových proudů v soustavách vysokého, velmi vysokého a zvláště vysokého napětí s použitím ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu se musí uvažovat kapacita netočivé složky vedení pro soustavy s izolovaným uzlem, rezonančně uzemněné soustavy a soustavy s uzemněným uzlem se zemnicím faktorem vyšším než 1,4.

[8]

2.3. Maximální zkratové proudy

Pro volbu a dimenzování elektrických zařízení určujeme největší možné hodnoty zkratového proudu. Výpočet se provádí za těchto předpokladů:

- pro výpočet maximálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel c_{\max} podle Tab. 1,
- zapojení soustavy (provozně přípustné) takové, které v místě zkratu dává největší zkratové proudy,
- pokud je použita ekvivalentní impedance \underline{Z}_Q jako reprezentující vnější síť, musí se použít minimální ekvivalentní zkratová impedance, která odpovídá maximálnímu příspěvku zkratových proudů od síťových napáječů,
- chod motorů,
- uvažuje se rezistance R_L venkovních vedení a kabelů při teplotě 20 °C.

[8]

2.4. Minimální zkratové proudy

Minimální zkratové proudy určujeme pro volbu a nastavení ochran ve zkratovém obvodu. Při výpočtu je nutné zvolit následující podmínky:

- pro výpočet minimálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel c_{\min} podle Tab. 1;

- zapojení soustavy pro zajištění jen minimálních odběrů (při paralelním spojení transformátorů a vedení se uvažuje jeden transformátor, popř. vedení odpojené);
- do zkratu pracuje snížený počet zdrojů naprázdno se jmenovitým napětím;
- vliv motorů se neuvažuje.
- při uvažování rezistancí R_L se uvažuje teplota venkovních vedení 80 °C a teplota kabelových vedení maximální přípustná.

Tab. 1 – Napěťový součinitel c

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů c_{\max}	minimálních zkratových proudů c_{\min}
Nízké napětí 100 V až 1000 V	1,05 ¹⁾ 1,10 ²⁾	0,95
Vysoké napětí > 1 kV až 35 kV	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí > 35 kV		

¹⁾ pro soustavy nn s tolerancí +6 %, například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V

²⁾ pro soustavy nn s tolerancí +10 %

[8]

2.5. Postup výpočtu

Při výpočtu zkratových proudů je nutný určitý postup, při kterém se v uvedeném sledu provedou základní kroky:

- sestavení schématu zapojení se všemi parametry prvků, vyznačení místa zkratu, druhu, případně maximální dobu trvání zkratu;
- stanovení impedance (reaktance, činné odpory) jednotlivých prvků zkratového obvodu;
- sestavení náhradního schématu soustavy (*souměrný zkrat – náhradní schéma jen pro souslednou složku, nesouměrný zkrat – náhradní schéma i pro zpětnou a netočivou složku*), postupné zjednodušení, určení výsledné impedance zkratového obvodu;
- výpočet zkratových poměrů.

[8]

2.6. Výpočet parametrů prvků soustavy

Výpočet zkratových poměrů soustavy lze provést dvěma způsoby:

- ve fyzikálních jednotkách,
- v poměrných jednotkách.

Při výpočtu zkratových poměrů ve fyzikálních jednotkách je nutné přepočítat parametry jednotlivých prvků na napěťovou hladinu, ve které se má určit zkratový proud, podle vztahu (2.20).

2.6.1. Náhradní impedance síťového napáječe (nadřazená síť)

$$\text{Sousledná složka} \quad Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}''} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}''} \quad [\Omega] \quad (2.1)$$

$$\text{Zpětná složka} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}''} \quad [\Omega, \%, \text{ kV, MVA}] \quad (2.2)$$

$$\text{Netočivá složka} \quad Z_{(0)} = c \cdot U_n^2 \cdot \left(\frac{3}{S_{k1}''} - \frac{2}{S_{k3}''} \right) \quad [\Omega, \%, \text{ kV, MVA}] \quad (2.3)$$

kde U_n – jmenovité sdružené napětí nahrazované sítě,
 I_k'' – počáteční rázový zkratový proud soustavy,
 S_k'' – zkratový výkon soustavy.

Pro soustavu oddělenou od místa zkratu transformátorem a při běžném výpočtu lze uvažovat $Z_{(1)} = X_{(1)}$.

2.6.2. Náhradní impedance dvouvinutového transformátoru

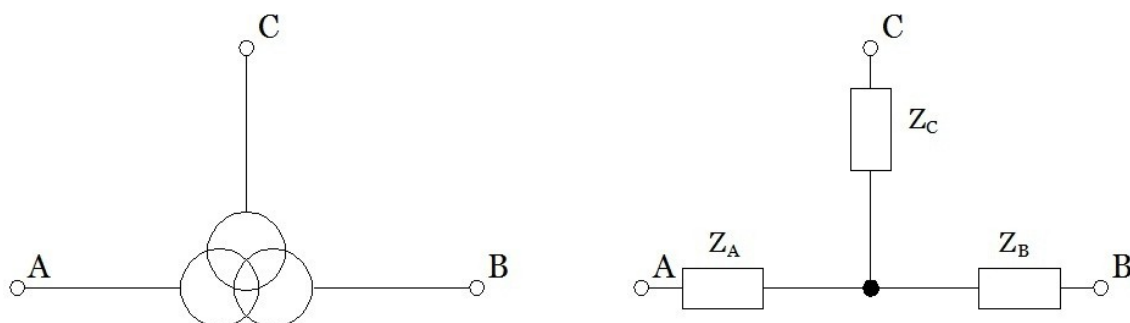
$$\text{Sousledná složka} \quad Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega, \%, \text{ kV, MVA}] \quad (2.4)$$

$$\text{Zpětná složka} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad [\Omega, \%, \text{ kV, MVA}] \quad (2.5)$$

kde u_k – jmenovité napětí nakrátko,
 U_{nT} – jmenovité napětí transformátoru,
 S_{nT} – jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru.

Netočivá složka se určuje dle zapojení vinutí transformátoru a dle jeho konstrukce.

2.6.3. Náhradní impedance trojvinutového transformátoru



Obr. 9 – Náhradní schéma trojvinutového transformátoru

$$\text{Sousledná složka} \quad Z_{(1)AB} = \frac{u_{kAB} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAB}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (2.6a)$$

$$Z_{(1)AC} = \frac{u_{kAC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAC}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (2.6b)$$

$$Z_{(1)BC} = \frac{u_{kBC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTBC}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (2.6c)$$

$$Z_{(1)A} = \frac{1}{2} \cdot (Z_{(1)AB} + Z_{(1)AC} - Z_{(1)BC}) \quad [\Omega] \quad (2.7a)$$

$$Z_{(1)B} = \frac{1}{2} \cdot (Z_{(1)AB} + Z_{(1)BC} - Z_{(1)AC}) \quad [\Omega] \quad (2.7b)$$

$$Z_{(1)C} = \frac{1}{2} \cdot (Z_{(1)AC} + Z_{(1)BC} - Z_{(1)AB}) \quad [\Omega] \quad (2.7c)$$

kde $u_{k(AB)}$ – jmenovité napětí nakrátko mezi vinutím A - B,
 $U_{nT(AB)}$ – jmenovité napětí transformátoru na vinutí B,
 $S_{nT(AB)}$ – jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru na vinutí B.

$$\text{Zpětná složka} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad [\Omega] \quad (2.8)$$

Netočivá složka se určuje dle zapojení vinutí transformátoru a dle jeho konstrukce.

2.6.4. Korekční součinitelé pro impedance dvou- a trojvinutových síťových transformátorů

Síťový transformátor je transformátor spojující dvě nebo více sítí s rozdílným napětím. U dvouvinutových transformátorů s přepínačem odboček při zatížení i bez něj se musí navíc k impedancím zavést korekční součinitel K_T : $Z_{TK} = K_T \cdot Z_T$.

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \quad (2.9)$$

kde x_T – poměrná reaktance transformátoru $x_T = X_T / (U_{nT}^2 / S_{nT})$ a c_{\max} z *Tab. 1* odpovídá jmenovitému napětí sítě připojené ke straně nižšího napětí síťového transformátoru. Tento korekční součinitel se nesmí použít pro blokové transformátory.

[1]

2.6.5. Náhradní impedance synchronního alternátoru

$$\text{Sousledná složka} \quad X_{(1)} = \frac{x_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MVA}] \quad (2.10)$$

$$R_{(1)} \approx 0 \rightarrow Z_{(1)} = X_{(1)} \quad [\Omega] \quad (2.11)$$

$$\text{Zpětná složka} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad [\Omega] \quad (2.12)$$

$$\text{Netočivá složka} \quad X_{(0)} = (0,15 \div 0,6) \cdot X_{(1)} \quad [\Omega] \quad (2.13)$$

$$R_{(0)} = R_{(1)} = R_{(2)} \approx 0 \rightarrow Z_{(0)} = X_{(0)} \quad [\Omega] \quad (2.14)$$

kde x_d'' – rázová reaktance alternátoru,
 U_{nG} – jmenovité napětí alternátoru,
 S_{nG} – jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru.

Pokud mají synchronní motory napěťovou regulaci, jsou modelovány stejným způsobem jako synchronní alternátory. Pokud nemají regulaci, používají se zvláštní postupy.

2.6.6. Náhradní impedance asynchronního motoru

$$\text{Sousledná složka} \quad Z_{(1)} = \frac{1}{i_z} \cdot \frac{U_{nAM}^2}{S_{nAM}} \quad [\Omega, \text{kV}, -, \text{MVA}] \quad (2.15)$$

$$\text{Zpětná složka} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad [\Omega] \quad (2.16)$$

kde i_z – poměrný záběrný proud motoru,
 U_{nAM} – jmenovité napětí motoru,
 S_{nAM} – jmenovitý zdánlivý výkon motoru.

Netočivá složka se určuje výhradně z výrobní dokumentace od výrobce nebo z měření.

2.6.7. Náhradní rezistance a reaktance vedení

$$\text{Sousledná složka} \quad R_{(1)} = R_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}] \quad (2.17)$$

$$X_{(1)} = X_k \cdot l \quad [\Omega, \Omega/\text{km}, \text{km}] \quad (2.18)$$

$$\text{Zpětná složka} \quad R_{(2)} = R_{(1)} \quad X_{(2)} = X_{(1)} \quad [\Omega] \quad (2.19)$$

kde l – délka vedení,
 R_k – rezistance vedení délky 1 km,
 X_k – reaktance vedení délky 1 km.

Netočivá složka lze určit výpočtem (závisí na provedení, způsobu uzemnění a vlivu okolí) nebo měřením.

2.6.8. Náhradní impedance reaktoru

Za předpokladu geometrické souměrnosti jsou si sousledné, zpětné a netočivé zkratové impedance rovny.

$$Z_{(1)} = Z_{(2)} = Z_{(0)} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad [\Omega, \%, \text{kV}, \text{A}] \quad (2.20)$$

kde u_R – impedanční napětí reaktoru,
 U_n – jmenovité sdružené napětí reaktoru,
 I_n – jmenovitý proud reaktoru.

Přepočet na napěťovou hladinu v místě zkratu dle vztahu:

$$Z_2 = Z_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad [\Omega, \Omega, \text{kV}, \text{kV}] \quad (2.21)$$

kde Z_2 – impedance přepočtena na napěťovou hladinu U_2 v místě zkratu,
 Z_1 – impedance na napěťové hladině U_1 .

2.7. Výpočet zkratových proudů

2.7.1. Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k''

Základem při výpočtu parametrů zkratového proudu je určení počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' , což je efektivní hodnota předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu.

$$\text{Trojfázový zkrat} \quad I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} \quad [\text{kA}, -, \text{kV}, \Omega] \quad (2.22)$$

$$\text{Dvoufázový zkrat} \quad I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \quad [\text{kA}, -, \text{kV}, \Omega] \quad (2.23)$$

$$\text{Jednofázový zkrat} \quad I_{k1}'' = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} \quad [\text{kA}, -, \text{kV}, \Omega] \quad (2.24)$$

kde c – napěťový součinitel dle Tab. I,
 U_n – jmenovité sdružené napětí sítě v místě zkratu,
 $Z_{(1)}$ – výsledná sousledná impedance zkratového obvodu,
 $Z_{(2)}$ – výsledná zpětná impedance zkratového obvodu,
 $Z_{(0)}$ – výsledná netočivá impedance zkratového obvodu.

2.7.2. Nárazový zkratový proud i_p

Je to maximální okamžitá hodnota zkratového proudu při největší stejnosměrné složce. Nárazový zkratový proud je rozhodující pro namáhání všech částí zkratového obvodu elektrodynamickými silami a závisí na impedanci zkratového obvodu.

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad [\text{kA}, -, \text{kA}] \quad (2.25)$$

kde I_k'' – počáteční rázový zkratový proud,
 κ – součinitel nárazového zkratového proudu.

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R / X} \quad (2.26)$$

2.7.3. Ekvivalentní oteplovací proud I_{th}

Protože se velikost zkratového proudu mění s časem, zjišťujeme ekvivalentní oteplovací proud, což je efektivní hodnota proudu stálé velikosti, která má za stejnou dobu stejný tepelný účinek jako uvažovaný zkratový proud. Pro určení vztahu se vychází z integrálu, který určuje energii tepla vytvářenou v odporovém prvku soustavy průchodem zkratového proudu.

$$\int_0^{T_k} i^2 dt = i_k^2 \cdot (m + n) \cdot T_k = i_{th}^2 \cdot T_k \quad (2.27)$$

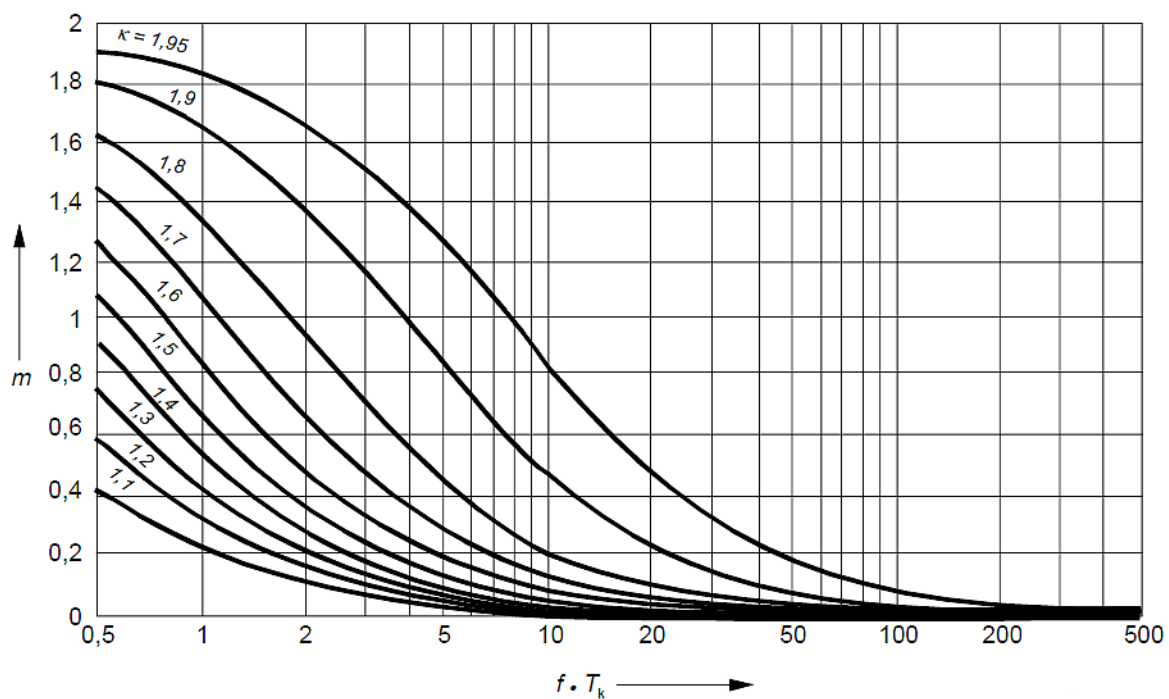
Ekvivalentní oteplovací proud je:

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \quad [\text{kA}, \text{kA}, -, -] \quad (2.28)$$

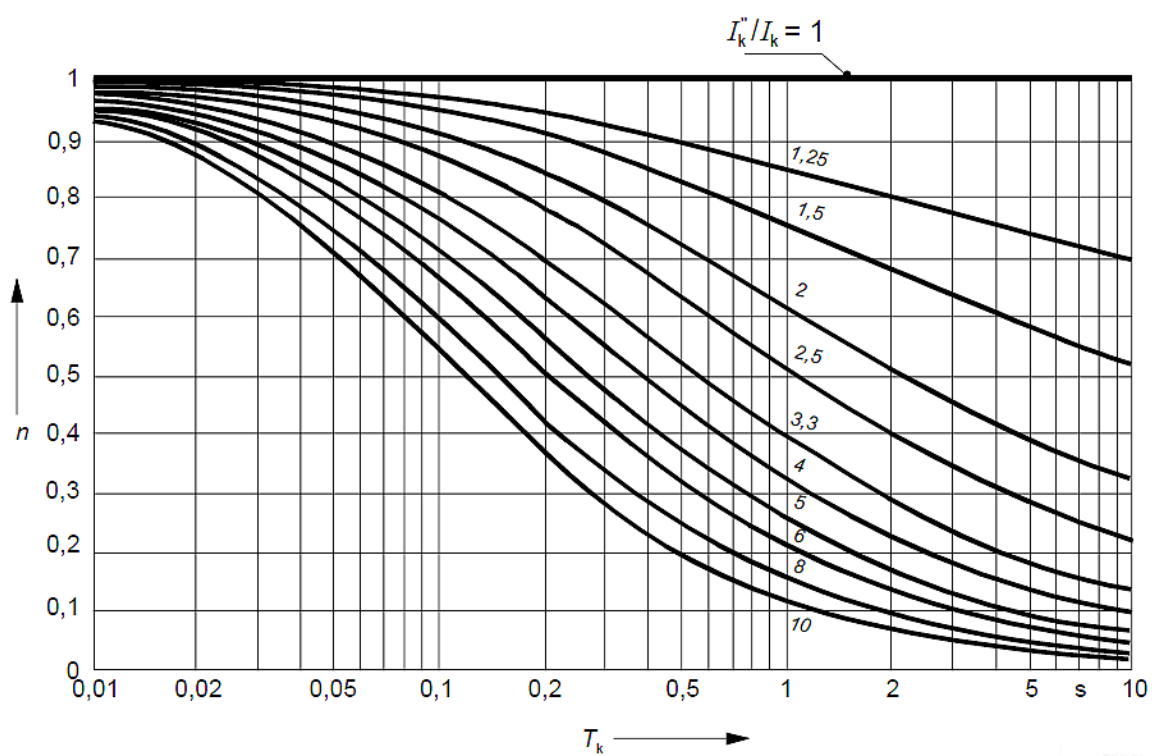
kde m – součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu,
 n – součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu,

Při udávání Jouleova integrálu a ekvivalentního oteplovacího proudu by měla být uvedena doba trvání zkratu T_k . Pokud uvedena není, předpokládá se $T_k = 1$ s.

Součinitele m a n lze určit z následujících grafů (*Obr. 10, Obr. 11*).



Obr. 10 – Součinitel m pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu



Obr. 11 – Součinitel n pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu

3. Popis ochran REF615, REU615

3.1. *Ochrana REF615*

[11]

3.1.1. Popis výrobku

REF615 patří k výrobkům produktové skupiny Relion[®] firmy ABB a zároveň je součástí produktové řady 615 určené pro chránění a ovládání. REF615 je specifické IED (inteligentní elektronické zařízení) určené pro chránění, ovládání, měření a monitorování vývodů jak rozveden energetických společností, tak i v energetických systémech průmyslových společností, včetně radiálních, okružních a zauzlených distribučních sítí s distribuovanou výrobou i bez výroby elektrické energie. Hlavními charakteristickými vlastnostmi výrobků řady 615 je jejich snadné použití, kompaktní provedení a výsuvné řešení s množstvím dostupných montážních metod.

IED REF615 je určeno především pro chránění venkovních vedení a kabelových vývodů v distribučních sítích, ale je také možné jej použít pro záložní chránění v aplikacích, kde je požadován nezávislý a redundantní systém ochran.

Podle zvolené standardní konfigurace se toto IED používá pro chránění venkovních vedení a kabelových vývodů v sítích s izolovaným nulovým bodem, v odporově uzemněných sítích, v kompenzovaných i v účinně uzemněných sítích.

IED řady 615 byly navrženy tak, aby plně využily potenciál standardu IEC 61850 pro komunikaci, přenos binárních a analogových zpráv GOOSE a protokolů IEC 60870-5-103, Modbus[®] a DNP3.



Obr. 12 – Ochrana REF615

REF615 nabízí směrovou i nesměrovou nadproudovou ochranu, ochranu proti tepelnému přetížení a také směrovou i nesměrovou zemní ochranu. Kromě toho je vybaveno citlivou zemní ochranou, ochranou při fázové nevyváženosti, ochranou pro přechodné nebo přerušované zemní poruchy, přepětíovou i podpětíovou ochranou, přepětíovou ochranou vyhodnocující nulovou i zpětnou složku napětí, podpětíovou ochranou vyhodnocující souslednou složku napětí. Ve standardní konfiguraci H nabízí frekvenční chránění, včetně nefrekvenční a podfrekvenční ochrany i ochrany, která vyhodnocuje rychlost změny frekvence.

3.1.2. Standardní konfigurace

K dispozici se nabízí osm alternativních standardních konfigurací. Úprava standardní konfigurace se provádí pomocí grafické signálové matice (Signal Matrix) nebo pomocí doplňkové konfigurační aplikace PCM600 (Protection and Control Manager), která je určena pro konfiguraci ochran skupiny Relion® a novějších. PCM600 obsahuje řadu nástrojů a nabízí všechny funkčnosti potřebné a používané při práci s IED ve všech fázích životního cyklu zařízení:

- Plánování,
- Inženýring,
- Uvedení do provozu,
- Provoz a zpracování poruchových záznamů,
- Funkční analýzy.

Tab. 2 – Standardní konfigurace REF615

Popis	St. konfigurace
Nesměrové nadproudové chránění a směrové zemní chránění	A a B
Nesměrové nadproudové chránění a nesměrové zemní chránění	C a D
Nesměrové nadproudové chránění a směrové zemní chránění s měřením fázového napětí	E
Směrové nadproudové chránění a směrové zemní chránění s měřením fázového napětí a s podpět'ovou i přepět'ovou ochranou	F
Směrové nadproudové chránění a směrové zemní chránění, ochranné a měřicí funkce na bázi měření fázového napětí, vstupy pro měření signálů z měřicích proudových a napět'ových senzorů	G
Nesměrové nadproudové chránění a nesměrové zemní chránění, ochranné a měřicí funkce na bázi měření fázového napětí i frekvence a funkce kontroly synchronního stavu (Synchrocheck)	H

Zemní směrová ochrana je používána jak v kompenzovaných sítích, tak v sítích s izolovaným nulovým bodem. Naopak zemní nesměrová ochrana je určena pro účinně uzemněné nebo nízkoimpedančně uzemněné sítě.

Pro vývod vybavený fázovými transformátory proudu, součtovým transformátorem proudu a měření nulové složky napětí jsou určeny standardní konfigurace A a B, které nabízejí zemní směrovou ochranu. Vypočtená nulová složka proudu z hodnot fázových proudů může být použita pro zemní ochranu, která chrání aplikaci při dvoufázových zemních poruchách. IED je také vybaveno funkcí, která vyhodnocuje přechodné nebo přerušované zemní poruchy.

Standardní konfigurace C a D nabízejí zemní nesměrovou ochranu pro vývody, které jsou vybaveny fázovým transformátorem proudu. Nulová složka proudu potřebná pro zemní ochranu je odvozena z měřených fázových proudů. Je-li to však možné, lze nulovou složku proudu měřit součtovým transformátorem proudu. Takové měření je vhodné v aplikacích, kde je požadována citlivá zemní ochrana.

Standardní konfigurace E a F nabízejí zemní směrovou ochranu s měřením fázového napětí a měřením nulové složky napětí. Disponují i funkcí kontrol proudového obvodu a funkcí kontroly poruchy pojistek (jištění), která se použije u přívodů s měřením napětí na přípojnících.

Konfigurace F nabízí oproti konfiguraci E navíc nadproudovou směrovou ochranu, přepětovou i podpětovou ochranu, podpětovou ochranu vyhodnocující souslednou složku napětí, přepětovou ochranu vyhodnocující zpětnou i nulovou složku napětí.

U standardní konfigurace G je k dispozici klasický vstup pro nulový proud a tři vstupy určené pro připojení kombinovaných senzorů pomocí konektorů RJ-45. Vstupy pro senzory umožňují použití IED v kompaktních rozvodnách vn.

Standardní konfigurace H nabízí nesměrovou nadproudovou a nesměrovou zemní ochranu i frekvenční ochranné a měřicí funkce. Tato konfigurace předurčuje použití v průmyslových energetických systémech s vlastní výrobou elektrické energie. Standardní konfigurace H doplněná o funkci kontroly synchronního stavu (Synchrocheck), zajišťuje bezpečné propojení dvou sítí.

3.2. Ochrana REU615

[12]

3.2.1. Popis výrobku

IED REU615 je k dispozici ve dvou standardních konfiguracích A a B. Konfigurace A je přizpůsobena a připravena pro použití v logikách napětového a frekvenčního chránění aplikovaných jak v systémech energetických společností, tak i v energetických systémech průmyslových podniků i v distribučních systémech včetně sítí s distribuovanou výrobou elektrické energie. Konfigurace B je určena pro automatickou regulaci napětí výkonových transformátorů, které jsou vybaveny přepínači odboček pod zatížením. Obě konfigurace disponují doplňkovými funkcemi pro ovládání vypínače, měřicími a kontrolními funkcemi. REU615 patří taktéž k výrobkům produktové skupiny Relion® firmy ABB a zároveň je součástí produktové řady 615 určené pro chránění a ovládání. Hlavními charakteristickými vlastnostmi výrobků řady 615 je jejich snadné použití, kompaktní provedení a výsuvné řešení s množstvím dostupných montážních metod.



Obr. 13 – Ochrana REU615

3.2.2. Standardní konfigurace

K dispozici jsou tedy dvě standardní konfigurace a stejně jako u REF615 je možné je upravit prostřednictvím signálové matice (Signal Matrix), nebo doplňkovou konfigurační aplikací PCM600 (Protection and Control Manager).

Tab. 3 – Standardní konfigurace REU615

Popis	St. konfigurace
Napěťové a frekvenční chránění s měřicími funkcemi, s funkcí kontroly synchronního stavu (Synchrocheck) a s funkcí odpínání zátěže	A
Automatický regulátor napětí	B

Standardní konfigurace A je určena pro kontrolu a monitorování napětí přípojníc a pro aplikace odpojení i opětného připojení zátěže. Je také použita pro nefrekvenční a podfrekvenční chránění výkonových generátorů, ale i například pro kondenzátorové baterie chráněné trojfázovou přepět'ovou ochranou, trojfázovou podpět'ovou ochranou, přepět'ovou ochranou vyhodnocující nulovou i zpětnou složku napětí, podpět'ovou ochranou vyhodnocující souslednou složku napětí i funkcí monitorující frekvenci. Funkce odpojení a opětného připojení zátěže nabízí pět podfunkcí, které umožní přesněji stanovit prioritu připojených vývodů, umožní tyto vývody sdružovat do skupin a zvýší bezpečnost kritických aplikací. Doplňkové HW a SW vybavení umožňují připojit ke standardní konfiguraci A tři kanály detekce záblesku, které u rozvodny s ocelovými krytými rozvaděči umožňují realizovat zábleskovou ochranu pole měření nebo prostoru přípojníc.

Standardní konfigurace B je určena pro automatickou regulaci napětí výkonových transformátorů, které jsou vybaveny přepínači odboček pod zatížením. I tato konfigurace nabízí třístupňovou trojfázovou nesměrovou nadproudovou ochranu, trojfázovou přepět'ovou ochranu, trojfázovou podpět'ovou ochranu. IED je také vybaveno funkcí ochrany proti tepelnému přetížení, která monitoruje tepelné namáhání vinutí transformátoru a brání rychlejšímu a předčasnému stárnutí izolace vinutí.

4. Výpočet minimálních zkratových poměrů na rozvodně

Pro správný návrh a nastavení ochran je nutný výpočet zkratových poměrů na rozvodně. Je potřeba znát jak minimální dvoufázový zkratový proud $I''_{k2\min}$, který je nezbytný pro nastavení ochran na nejmenší možný zkratový proud, tak i maximální rázový trojfázový zkratový proud $I''_{k3\max}$, který se počítá z hlediska kontroly zařízení na oteplení a zároveň pro nastavení maximálního přípustného času na ochraně, do kdy se musí chráněné zařízení odpojit.

Pro výpočet zkratových poměrů jsou uvažovány dvě provozní varianty.

Výpočet maximálních zkratových poměrů byl proveden pro provozní variantu A (Obr. 14).

Výpočet minimálních zkratových poměrů byl proveden pro provozní variantu B (Obr. 20).

Při výpočtu bylo uvažováno se zkratovým příspěvkem z nadřazené soustavy do rozvodny R 110 kV Biocel $S_{k\max} = 2867,4 \text{ MVA}$ a $S_{k\min} = 1195,5 \text{ MVA}$.

4.1. Popis rozvodny průmyslového podniku

Schéma zapojení sítě je uvedeno v příloze A.

Rozvodná soustava průmyslového podniku je napájena z rozvodny Lískovec R 110 kV dvěma linkami 607 a 608 přes transformátory 110/10,5 kV TH1 a TH2 na rozvodny 41.03 RX1 a 41.03 RX2. Na těchto rozvodnách se nacházejí synchronní generátory TG1 a TG2 a také synchronní motory MA2 a MA. Z rozvodny 41.03 RX1 je dále napájena nová rozvodna 22.12 E RX1 a rozvodna 40.12 RX1, na které je připojen asynchronní motor MA21. Z rozvodny 41.03 RX2 je napájena nová rozvodna 22.12 E RX2 a dvě starší rozvodny 40.12 RX2 a 20.06 RX1, na kterých se nacházejí další asynchronní motory.

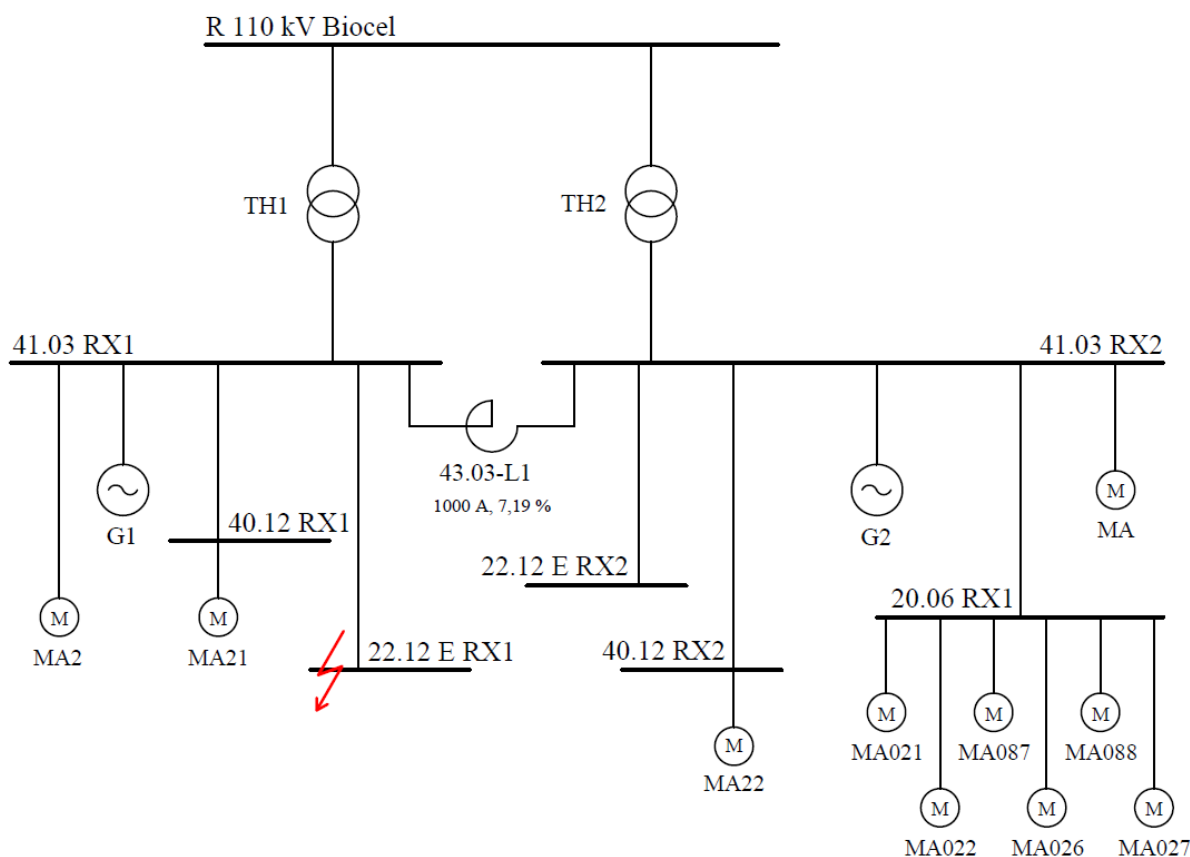
V případě výpadku jednoho z napájecích transformátorů nebude omezen provoz. Případnou poruchovou situaci lze řešit změnou zapojení ve vnitřních rozvodech průmyslového podniku. Při běžném provozu jsou rozvodny napájeny se spojkami v rozeprnutém stavu.

Databáze prvků soustavy je uvedena v příloze B.

4.2. Výpočet maximálních zkratových poměrů

Pro výpočet maximálních zkratových poměrů je uvažována provozní varianta A dle následujícího schématu (Obr. 14), tedy varianta, u které uvažujeme provoz na maximální výkon. Uvažuje se provoz obou generátorů G1 a G2, synchronních motorů vn umístěných na rozvodnách 41.03 RX1 a 41.03 RX2, příspěvky asynchronních motorů v podružných rozvodnách 40.12 RX1, 40.12 RX2 a 20.06 RX1 a v neposlední řadě příspěvek z nadřazené soustavy.

Místo zkratu je vyznačeno ve schématu (Obr. 14).



Obr. 14 – Schéma zapojení provozní varianty A

4.2.1. Výpočet parametrů prvků soustavy

Výpočet parametrů prvků soustavy je proveden ve fyzikálních jednotkách.

Síťový napáječ:

$$X'_{(1)S} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}''} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{kmax}''} = \frac{1,1 \cdot 110^2}{2867,4} = 4,642 \, \Omega$$

Přepočet na napěťovou hladinu v místě zkratu:

$$X_{(1)S} = X'_{(1)S} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 = 4,642 \cdot \left(\frac{10}{110} \right)^2 = 0,0384 \, \Omega$$

Transformátory:

Lze uvažovat: $R_{(1)} \approx 0 \rightarrow Z_{(1)} = X_{(1)}$

$$X'_{(1)TH1} = \frac{u_k \cdot U_{nTH1}^2}{100 \cdot S_{nTH1}} = \frac{16,8 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 25} = 0,7409 \, \Omega$$

$$X'_{(1)TH2} = \frac{u_k \cdot U_{nTH2}^2}{100 \cdot S_{nTH2}} = \frac{16,8 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 25} = 0,7409 \, \Omega$$

Korekční součinitel:

$$x_{(1)TH1} = \frac{X'_{(1)TH1}}{\frac{U_{nTH1}^2}{S_{nTH1}}} = \frac{0,7409}{\frac{10,5^2}{25}} = 0,168$$

$$K_{TH1} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_{(1)TH1}} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,168} = 0,95$$

$$X_{(1)TH1} = K_{TH1} \cdot X'_{(1)TH1} = 0,95 \cdot 0,7409 = 0,704 \Omega$$

$$X_{(1)TH1} = X_{(1)TH2}$$

Synchronní generátory a motory:

Lze uvažovat: $R_{(1)} \approx 0 \rightarrow Z_{(1)} = X_{(1)}$

$$X_{(1)TG1} = \frac{x_d'' \cdot U_{nTG1}^2}{100 \cdot S_{nTG1}} = \frac{16,5 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 25,4} = 0,716 \Omega$$

$$X_{(1)TG2} = \frac{x_d'' \cdot U_{nTG2}^2}{100 \cdot S_{nTG2}} = \frac{16,5 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 25,4} = 0,716 \Omega$$

$$X_{(1)MA2} = \frac{x_d'' \cdot U_{nMA2}^2}{100 \cdot S_{nMA2}} = \frac{12,8 \cdot 10^2}{100 \cdot 1,16} = 11,034 \Omega$$

$$X_{(1)MA} = \frac{x_d'' \cdot U_{nMA}^2}{100 \cdot S_{nMA}} = \frac{12,8 \cdot 10^2}{100 \cdot 1,16} = 11,034 \Omega$$

Reaktor:

$$X_{(1)R} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_{nR}}{\sqrt{3} \cdot I_{nR}} = \frac{10 \cdot 7,19 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 1000} = 0,415 \Omega$$

Asynchronní motory:

Zdánlivý výkon je dopočítán podle vztahu $S_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n$

$$X_{(1)MA21} = \frac{1}{i_z} \cdot \frac{U_{nMA21}^2}{S_{nMA21}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{10^2}{1,4} = 14,286 \Omega$$

$$X_{(1)MA22} = \frac{1}{i_z} \cdot \frac{U_{nMA22}^2}{S_{nMA22}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{10^2}{1,4} = 14,286 \Omega$$

$$X_{(1)\Sigma AM} = \frac{1}{i_z} \cdot \frac{U_{n\Sigma AM}^2}{S_{n\Sigma AM}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{10^2}{5,28} = 3,788 \Omega$$

Kabely:

do TH1:

$$R_{(1)kTH1} = R_k \cdot l = 0,047 \cdot 0,02 = 9,4 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$X_{(1)kTH1} = X_k \cdot l = 0,088 \cdot 0,02 = 1,76 \cdot 10^{-3} \Omega$$

do TH2:

$$R_{(1)kTH2} = R_k \cdot l = 0,047 \cdot 0,02 = 9,4 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$X_{(1)kTH2} = X_k \cdot l = 0,088 \cdot 0,02 = 1,76 \cdot 10^{-3} \Omega$$

do TG1:

$$R_{(1)kTG1} = R_k \cdot l = 0,0366 \cdot 0,06 = 2,2 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_{(1)kTG1} = X_k \cdot l = 0,0855 \cdot 0,06 = 5,13 \cdot 10^{-3} \Omega$$

do TG2:

$$R_{(1)kTG2} = R_k \cdot l = 0,0366 \cdot 0,06 = 2,2 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_{(1)kTG2} = X_k \cdot l = 0,0855 \cdot 0,06 = 5,13 \cdot 10^{-3} \Omega$$

do 40.12 RX1:

$$R_{(1)kMA21} = R_k \cdot l = 0,125 \cdot 0,05 = 6,25 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_{(1)kMA21} = X_k \cdot l = 0,097 \cdot 0,05 = 4,85 \cdot 10^{-3} \Omega$$

do 40.12 RX2:

$$R_{(1)kMA22} = R_k \cdot l = 0,125 \cdot 0,05 = 6,25 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_{(1)kMA22} = X_k \cdot l = 0,097 \cdot 0,05 = 4,85 \cdot 10^{-3} \Omega$$

do 20.06 RX1:

$$R_{(1)k\Sigma AM} = R_k \cdot l = 0,125 \cdot 0,48 = 0,06 \Omega$$

$$X_{(1)k\Sigma AM} = X_k \cdot l = 0,097 \cdot 0,48 = 0,047 \Omega$$

do 22.12 E RX1:

$$R_{(1)k22.12RX1} = R_k \cdot l = 0,129 \cdot 0,1 = 0,0129 \Omega$$

$$X_{(1)k22.12RX1} = X_k \cdot l = 0,082 \cdot 0,1 = 0,0082 \Omega$$

do 22.12 E RX2:

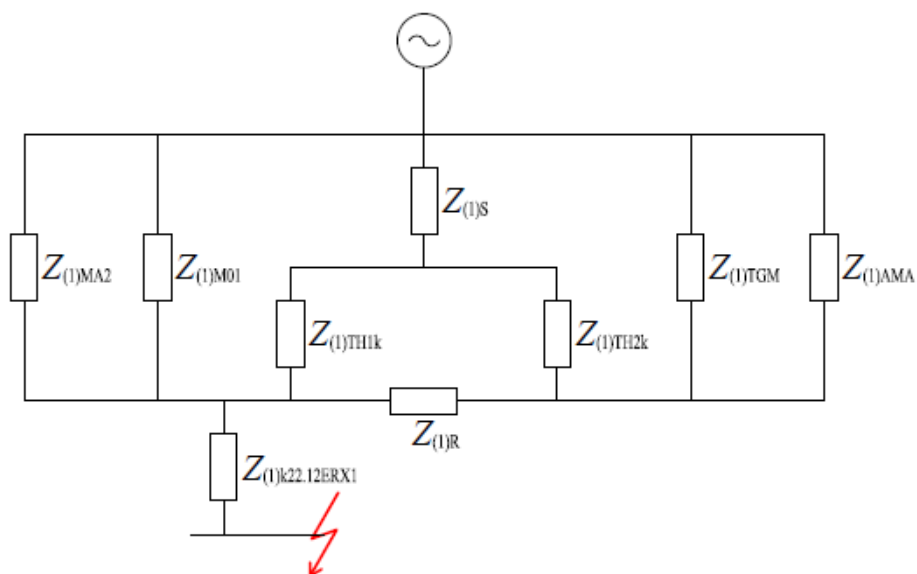
$$R_{(1)k22.12RX2} = R_k \cdot l = 0,129 \cdot 0,1 = 0,0129 \Omega$$

$$X_{(1)k22.12RX2} = X_k \cdot l = 0,082 \cdot 0,1 = 0,0082 \Omega$$

$$Z_{(1)TG2k} = Z_{(1)TG1k} = (0,001 + j0,719) \Omega$$

$$Z_{(1)MA22k} = Z_{(1)MA21k} = (0,003 + j14,29) \Omega$$

$$Z_{(1)MA21k} = X_{(1)MA21} + R_{(1)kMA21} + X_{(1)kMA21} = (0,003 + j14,29) \Omega$$

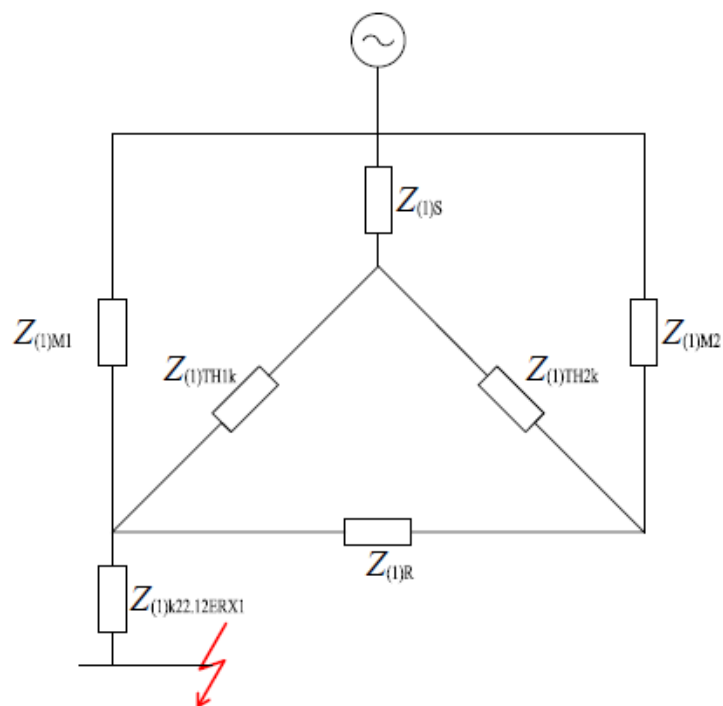


Obr. 17 – Náhradní schéma zapojení provozní varianty A

$$Z_{(1)M01} = \frac{Z_{(1)MA21k} \cdot Z_{(1)TG1k}}{Z_{(1)MA21k} + Z_{(1)TG1k}} = (0,001 + j0,684) \Omega$$

$$Z_{(1)TGM} = \frac{Z_{(1)MA22k} \cdot Z_{(1)TG2k}}{Z_{(1)MA22k} + Z_{(1)TG2k}} = (0,001 + j0,684) \Omega$$

$$Z_{(1)AMA} = \frac{Z_{(1)\Sigma AMk} \cdot Z_{(1)MA}}{Z_{(1)\Sigma AMk} + Z_{(1)MA}} = (0,016 + j2,833) \Omega$$

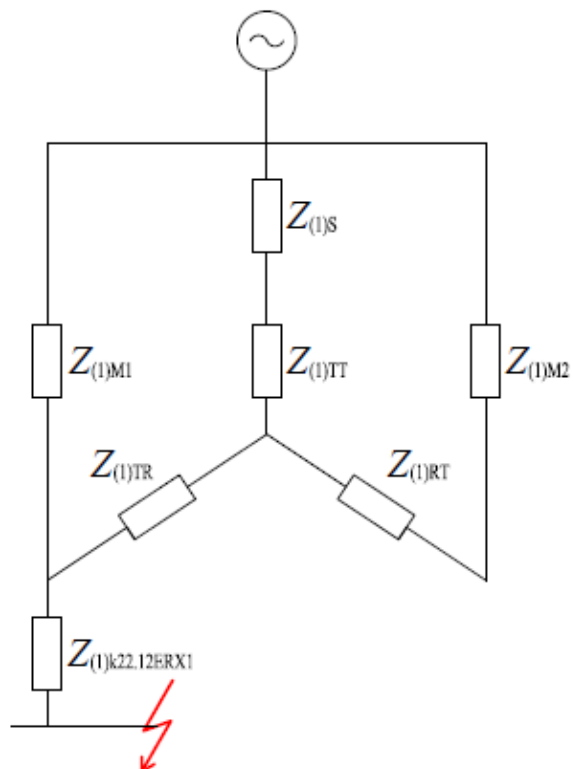


Obr. 18 – Náhradní schéma zapojení provozní varianty A

$$Z_{(1)M1} = \frac{Z_{(1)MA2} \cdot Z_{(1)M01}}{Z_{(1)MA2} + Z_{(1)M01}} = (0,0009 + j0,644) \Omega$$

$$Z_{(1)M2} = \frac{Z_{(1)TGM} \cdot Z_{(1)AMA}}{Z_{(1)TGM} + Z_{(1)AMA}} = (0,0013 + j0,551) \Omega$$

Transfigurace D → Y



Obr. 19 – Náhradní schéma zapojení provozní varianty A

$$Z_{(1)TT} = \frac{Z_{(1)TH1k} \cdot Z_{(1)TH2k}}{Z_{(1)TH1k} + Z_{(1)TH2k} + Z_{(1)R}} = (0,0001 + j0,272) \Omega$$

$$Z_{(1)TR} = \frac{Z_{(1)TH1k} \cdot Z_{(1)R}}{Z_{(1)TH1k} + Z_{(1)TH2k} + Z_{(1)R}} = (0,00001 + j0,16) \Omega$$

$$Z_{(1)RT} = \frac{Z_{(1)TH2k} \cdot Z_{(1)R}}{Z_{(1)TH1k} + Z_{(1)TH2k} + Z_{(1)R}} = (0,00001 + j0,16) \Omega$$

4.2.4. Výpočet zkratových poměrů

Po postupném zjednodušování je absolutní hodnota výsledné impedance pro souslednou složku $Z_{(1)} = 0,2418 \Omega$.

Trojfázový maximální zkratový proud:

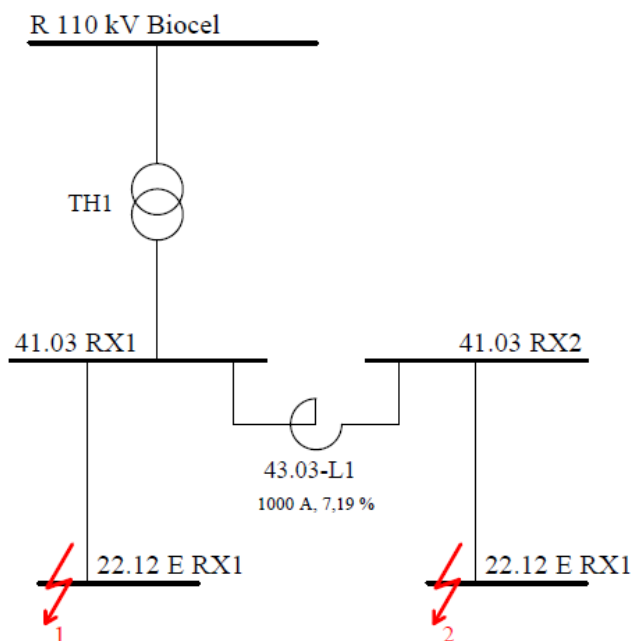
$$I''_{k3\max} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} = \frac{1,1 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 0,2418} = 26,26 \text{ kA}$$

Trojfázový maximální zkratový výkon:

$$S''_{k3\max} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3\max} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 26,26 = 454,9 \text{ MVA}$$

4.3. Výpočet minimálních zkratových poměrů

Pro výpočet minimálních zkratových poměrů je uvažována provozní varianta B se zkraty v místě 1 a 2 označených ve schématu (Obr. 20). U této provozní varianty B uvažujeme s provozem na minimální výkon, což představuje provoz pouze jednoho z transformátorů, bez příspěvků generátorů G1 a G2, synchronních motorů vn umístěných na rozvodnách 41.03 RX1 a 41.03 RX2 a bez příspěvků asynchronních motorů v podružných rozvodnách 40.12 RX1, 40.12 RX2 a 20.06 RX1. Počítáme pouze s příspěvkem z nadřazené soustavy R 110 kV Biocel.



Obr. 20 – Schéma zapojení provozní varianty B

4.3.1. Výpočet parametrů prvků soustavy

Síťový napáječ:

$$X'_{(1)S} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}''} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{kmin}''} = \frac{1,0 \cdot 110^2}{1195,5} = 10,12 \, \Omega$$

Přepočet na napěťovou hladinu v místě zkratu:

$$X_{(1)S} = X'_{(1)S} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 = 10,12 \cdot \left(\frac{10}{110} \right)^2 = 0,0836 \, \Omega$$

Transformátory:

Lze uvažovat: $R_{(1)} \approx 0 \rightarrow Z_{(1)} = X_{(1)}$

$$X'_{(1)TH1} = \frac{u_k \cdot U_{nTH1}^2}{100 \cdot S_{nTH1}} = \frac{16,8 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 25} = 0,7409 \, \Omega$$

Korekční součinitel:

$$x_{(1)TH1} = \frac{X'_{(1)TH1}}{\frac{U_{nTH1}^2}{S_{nTH1}}} = \frac{0,7409}{\frac{10,5^2}{25}} = 0,168$$

$$K_{TH1} = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_{(1)TH1}} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,168} = 0,95$$

$$X_{(1)TH1} = K_{TH1} \cdot X'_{(1)TH1} = 0,95 \cdot 0,7409 = 0,704 \, \Omega$$

Reaktor:

$$X_{(1)R} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_{nR}}{\sqrt{3} \cdot I_{nR}} = \frac{10 \cdot 7,19 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 1000} = 0,415 \, \Omega$$

Kabely:

do TH1:

$$R_{(1)kTH1} = R_k \cdot l = 0,047 \cdot 0,02 = 9,4 \cdot 10^{-4} \, \Omega$$

$$X_{(1)kTH1} = X_k \cdot l = 0,088 \cdot 0,02 = 1,76 \cdot 10^{-3} \, \Omega$$

do 22.12 E RX1:

$$R_{(1)k22.12RX1} = R_k \cdot l = 0,129 \cdot 0,1 = 0,0129 \, \Omega$$

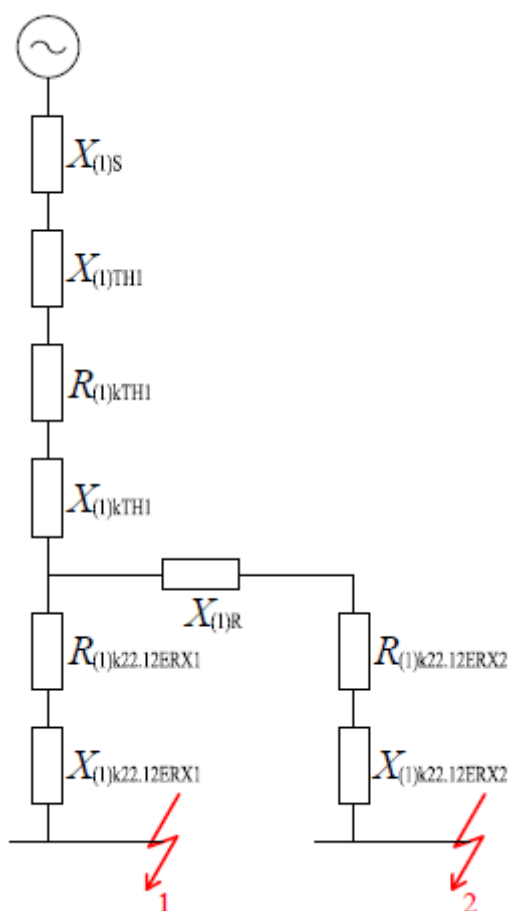
$$X_{(1)k22.12RX1} = X_k \cdot l = 0,082 \cdot 0,1 = 0,0082 \, \Omega$$

do 22.12 E RX2:

$$R_{(1)k22.12RX2} = R_k \cdot l = 0,129 \cdot 0,1 = 0,0129 \, \Omega$$

$$X_{(1)k22.12RX2} = X_k \cdot l = 0,082 \cdot 0,1 = 0,0082 \, \Omega$$

4.3.2. Náhradní schéma zapojení



Obr. 21 – Náhradní schéma zapojení provozní varianty B

4.3.3. Výpočet zkratových poměrů

Po postupném zjednodušování je absolutní hodnota výsledné impedance pro souslednou složku v místě zkratu 1 $Z_{(1)B1} = 0,792 \Omega$ a v místě zkratu 2 $Z_{(1)B2} = 1,21 \Omega$.

Trojfázový minimální zkratový proud v místě zkratu 1:

$$I_{k3\min}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)B1}|} = \frac{1,0 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 0,792} = 7,29 \text{ kA}$$

Dvoufázový minimální zkratový proud v místě zkratu 1:

$$I_{k2\min}'' = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)B1} + Z_{(2)B1}|} = \frac{c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{(1)B1}|} = \frac{1,0 \cdot 10}{2 \cdot 0,792} = 6,31 \text{ kA}$$

Trojfázový minimální zkratový výkon v místě zkratu 1:

$$S_{k3\min}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3\min}'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 7,29 = 126,26 \text{ MVA}$$

Trojfázový minimální zkratový proud v místě zkratu 2:

$$I''_{k3\min} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)B2}|} = \frac{1,0 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 1,21} = 4,77 \text{ kA}$$

Dvoufázový minimální zkratový proud v místě zkratu 2:

$$I''_{k2\min} = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)B2} + Z_{(2)B2}|} = \frac{c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{(1)B2}|} = \frac{1,0 \cdot 10}{2 \cdot 1,21} = 4,13 \text{ kA}$$

Trojfázový minimální zkratový výkon v místě zkratu 2:

$$S''_{k3\min} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3\min} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 4,97 = 82,62 \text{ MVA}$$

4.4. Shrnutí

V následující tabulce (Tab. 4) jsou shrnuty výpočty zkratových poměrů jednotlivých provozních variant. Provozní varianta A je uvažována pro výpočet maximálních zkratových poměrů, tudíž výpočet minimálního dvoufázového zkratu není předmětný.

Tab. 4 – Shrnutí výpočtů zkratových poměrů

provozní varianta	místo zkratu	S''_{k3}	I''_{k3}	I''_{k2}
		[MVA]	[kA]	[kA]
A	-	454,9	26,26	-
B	1	126,26	7,29	6,31
	2	82,62	4,77	4,13

4.5. Průchozí zkratové proudy

Výpočet je potřebný k určení minimálních dvoufázových průchozích zkratových proudů za transformátorem TM1 na rozvodně 22.12 E RX1 a za transformátory TS1 a TM2 na rozvodně 22.12 E RX2.

4.5.1. Výpočet parametrů prvků soustavy

Síťový napáječ:

$$X'_{(1)S} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3}} = \frac{c \cdot U_n^2}{S''_{k3\min}} = \frac{1,0 \cdot 110^2}{1195,5} = 10,12 \Omega$$

Přepočet na napěťovou hladinu v místě zkratu:

$$X_{(1)S} = X'_{(1)S} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 = 10,12 \cdot \left(\frac{10}{110} \right)^2 = 0,0836 \Omega$$

Transformátory:

Lze uvažovat: $R_{(1)} \approx 0 \rightarrow Z_{(1)} = X_{(1)}$

$$X'_{(1)TH1} = \frac{u_k \cdot U_{nTH1}^2}{100 \cdot S_{nTH1}} = \frac{16,8 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 25} = 0,7409 \Omega$$

$$X'_{(1)TM1} = \frac{u_k \cdot U_{nTM1}^2}{100 \cdot S_{nTM1}} = \frac{6 \cdot 10^2}{100 \cdot 2,5} = 2,4 \Omega$$

$$X'_{(1)TS1} = \frac{u_k \cdot U_{nTS1}^2}{100 \cdot S_{nTS1}} = \frac{6 \cdot 10^2}{100 \cdot 0,63} = 9,524 \Omega$$

$$X'_{(1)TM2} = X'_{(1)TM1} = 2,4 \Omega$$

Korekční součinitele:

$$X_{(1)TH1} = K_{TH1} \cdot X'_{(1)TH1} = 0,95 \cdot 0,7409 = 0,704 \Omega$$

$$x_{(1)TM1} = \frac{X'_{(1)TM1}}{\frac{U_{nTM1}^2}{S_{nTM1}}} = \frac{2,4}{\frac{10^2}{2,5}} = 0,06$$

$$K_{TM1} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_{(1)TM1}} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,06} = 1,01$$

$$X_{(1)TM1} = K_{TM1} \cdot X'_{(1)TM1} = 1,01 \cdot 2,4 = 2,42 \Omega$$

$$X_{(1)TM2} = X_{(1)TM1} = 2,42 \Omega$$

$$x_{(1)TS1} = \frac{X'_{(1)TS1}}{\frac{U_{nTS1}^2}{S_{nTS1}}} = \frac{9,524}{\frac{10^2}{0,63}} = 0,06$$

$$K_{TS1} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_{(1)TS1}} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,06} = 1,01$$

$$X_{(1)TS1} = K_{TS1} \cdot X'_{(1)TS1} = 1,01 \cdot 9,524 = 9,62 \Omega$$

Reaktor:

$$X_{(1)R} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_{nR}}{\sqrt{3} \cdot I_{nR}} = \frac{10 \cdot 7,19 \cdot 10}{\sqrt{3} \cdot 1000} = 0,415 \Omega$$

Kabely:

do TH1:

$$R_{(1)kTH1} = R_k \cdot l = 0,047 \cdot 0,02 = 9,4 \cdot 10^{-4} \Omega$$

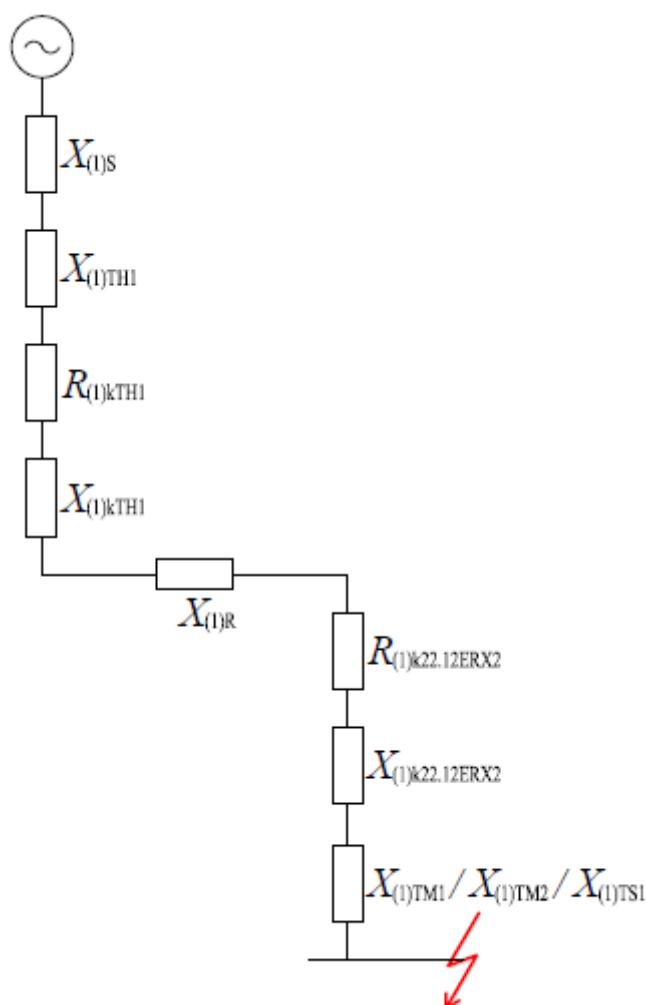
$$X_{(1)kTH1} = X_k \cdot l = 0,088 \cdot 0,02 = 1,76 \cdot 10^{-3} \Omega$$

do 22.12 E RX2:

$$R_{(1)k22.12RX2} = R_k \cdot l = 0,129 \cdot 0,1 = 0,0129 \Omega$$

$$X_{(1)k22.12RX2} = X_k \cdot l = 0,082 \cdot 0,1 = 0,0082 \Omega$$

4.5.2. Náhradní schéma zapojení



Obr. 22 – Náhradní schéma zapojení

4.5.3. Výpočet zkratových poměrů

Po postupném zjednodušování je absolutní hodnota výsledné impedance pro souslednou složku za transformátory TM1 a TM2 $Z_{(1)TM} = 3,63 \, \Omega$ a za transformátorem TS1 $Z_{(1)TS1} = 10,83 \, \Omega$.

Dvoufázový minimální průchozí zkratový proud – transformátory TM1 / TM2:

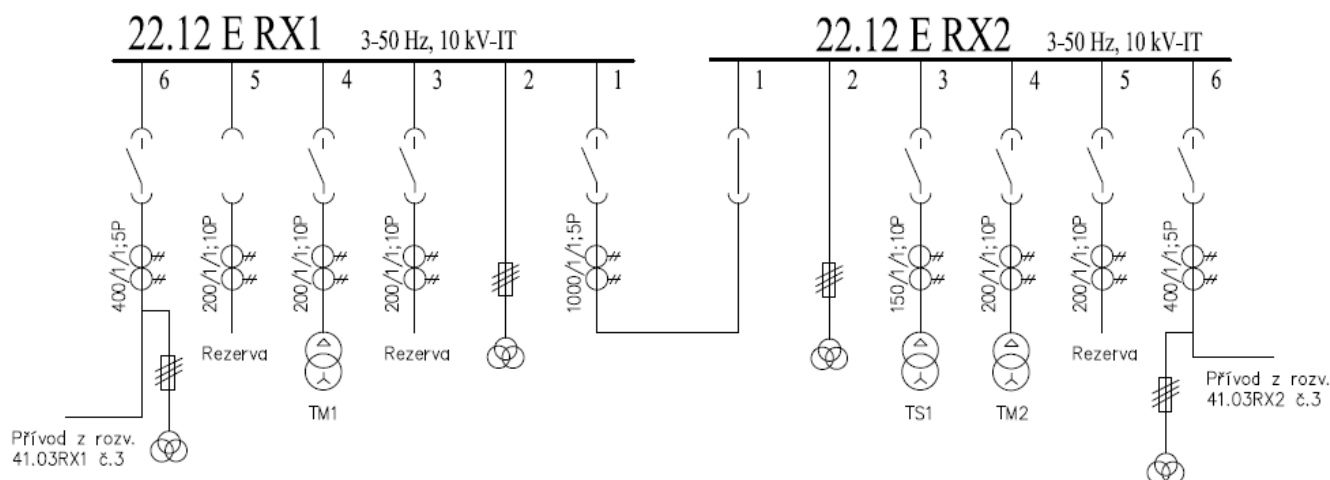
$$I''_{k2min-pruchozi} = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)TM} + Z_{(2)TM}|} = \frac{c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{(1)TM}|} = \frac{1,0 \cdot 10}{2 \cdot 3,63} = 1,377 \text{ kA}$$

Dvoufázový minimální průchozí zkratový proud – transformátor TS1:

$$I''_{k2min-pruchozi} = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)TS1} + Z_{(2)TS1}|} = \frac{c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{(1)TS1}|} = \frac{1,0 \cdot 10}{2 \cdot 10,83} = 0,462 \text{ kA}$$

5. Výpočet nastavení ochran na rozvodně vn

Návrh a nastavení ochran je proveden pro nové rozvodny 22.12 E RX1 a 22.12 E RX2.



Obr. 23 – Jednopolové schéma rozvodny 22.12 E RX1 a 22.12 E RX2

5.1. 22.12 E RX1 – pole č. 6 – Přívod z rozv. 41.03RX1 – pole č. 3

Nastavení nadřazené ochrany:

MTP: 400/1/1 A

Ochrana: SPAC310C

Pro nadproudovou ochranu je zvolena charakteristika IEC Normal Inverse.

Tab. 5 – Nastavení nadřazené ochrany

	Rozběhová hodnota $I_r \times I_n$	Časový faktor k	t [ms]	Reálná hodnota proudu I [A]
Nadproudová ochrana $I > I_n$	1,2	0,4	-	480
Zkratová ochrana $I >> I_n$	6,2	-	600	2480

Chráněný objekt:

Kabel Al 2x3x240 mm², $I_{dov} = 660$ A

MTP: 400/1/1 A

Ochrana: REF615

Nadproudová ochrana PHLPTOC, $3I >$

$$I_r \geq I_{pmax} \cdot \frac{k_b}{k_p \cdot p_i} = 660 \cdot \frac{1,1}{0,96 \cdot 400} = 1,89 \text{ A}$$

kde k_b – koeficient bezpečnosti (volí se v rozmezí 1,1 až 1,35),
 k_p – přídržný poměr (typická hodnota digitální ochrany ABB je 0,96),
 p_i – jmenovitý převod proudových transformátorů.

S ohledem na MTP a s ohledem na nastavení nadřazené ochrany nastavíme rozběhový proud na sekundární straně $I_r = 1,1 \times I_n$ ochrany (rozběhový proud na primární straně je $I_r = 1,1 \cdot 400 = 440 \text{ A}$). Jako charakteristiku zvolíme IEC Normal Inverse s násobícím časovým faktorem $k = 0,4$.

Tab. 6 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 5,00	$\times I_n$	1,1
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		0,4
Operate delay time	40 .. 200000	ms	-
Operating curve type	1 .. 19 ¹⁾		9
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	440

¹⁾ Operating curve type
 1=ANSI Ext. inv.; 2=ANSI Very inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 4=ANSI Mod. inv.;
 5=ANSI Def. Time; 6=L.T.E. inv.; 7=L.T.V. inv.; 8=L.T. inv.; 9=IEC Norm. inv.;
 10=IEC Very inv.; 11=IEC inv.; 12=IEC Ext. Inv.; 13=IEC S.T. inv.; 14=IEC L.T. inv.;
 15=IEC Def. Time; 17=Programmable; 18=RI type; 19=RD type

²⁾ Type of reset curve
 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 7 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		1

³⁾ Operation
 1=on; 5=off

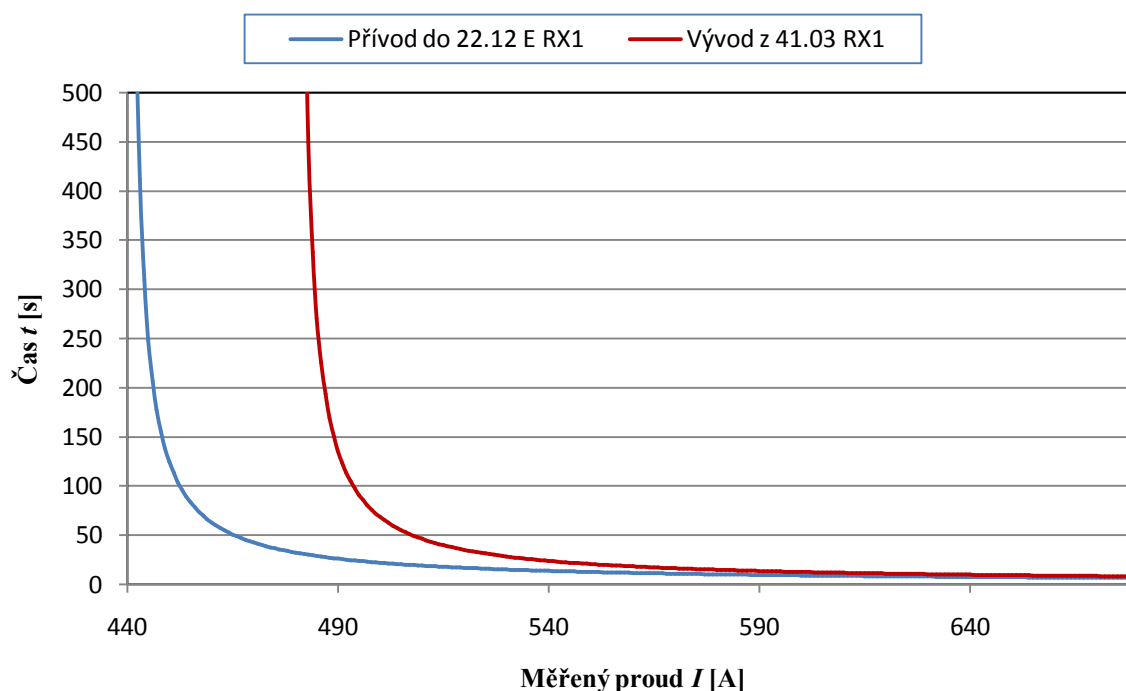
⁴⁾ Num of start phases
 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode
 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

Časová závislost působení ochran:

$$t[s] = \left(\frac{A}{\left(\frac{I}{I >} \right)^C - 1} + B \right) \cdot k = \frac{0,14 \cdot 0,4}{\left(\frac{I}{I >} \right)^{0,02} - 1}$$

kde koeficienty A , B , C závisí na zvolené charakteristice,
 I – měřený proud,
 $I >$ – rozběhová hodnota proudu,
 k – násobící časový faktor.



Obr. 24 – Normálně inverzní charakteristika ochran

Tento graf (Obr. 24) ukazuje závislost dvou ochran, z nichž jedna je nadřazená druhé.

Zkratová ochrana PHHPTOC, 3I >>

$$I_r < \frac{I_{k2min}''}{k_c \cdot p_i} = \frac{4,13 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 400} = 6,88 \text{ A}$$

kde k_c – koeficient citlivosti (volí se na základě praktických zkušeností nejméně 1,5).

Rozběhový proud nastavíme na sekundární straně $I_r = 6 \times I_n$ ochrany (rozběhový proud na primární straně je $6 \cdot 400 = 2400 \text{ A}$). Vypínací čas s ohledem na časové nastavení nadřazené ochrany ($t = 0,6 \text{ s}$) a také s ohledem na dodržení minimální časové selektivity ($\Delta t = 200 \text{ ms}$) zvolíme $t = 0,4 \text{ s}$.

Tab. 8 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

Parameter	Values	Unit	Setting
Start value	0,10 .. 40,00	$\times I_n$	6
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 200000	ms	400
Operating curve type	1 .. 17 ¹⁾		15
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	2400

¹⁾ Operating curve type 1=ANSI Ext. inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 5=ANSI Def. Time; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 12=IEC Ext. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 9 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

5.2. 22.12 E RX1 – pole č. 5 – Rezerva

Parametry nastavení zvoleny podle sousedního pole č. 4 – Transformátor TM1.

MTP: 200/1/1 A

Ochrana: REF615

Nadproudová ochrana PHLPTOC, 3I >

Tab. 10 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 5,00	x I_n	0,72
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		0,6
Operate delay time	40 .. 200000	ms	-
Operating curve type	1 .. 19 ¹⁾		9
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	144

¹⁾ Operating curve type 1=ANSI Ext. inv.; 2=ANSI Very inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 4=ANSI Mod. inv.; 5=ANSI Def. Time; 6=L.T.E. inv.; 7=L.T.V. inv.; 8=L.T. inv.; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 11=IEC inv.; 12=IEC Ext. Inv.; 13=IEC S.T. inv.; 14=IEC L.T. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable; 18=RI type; 19=RD type

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 11 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		1

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

Zkratová ochrana PHHPTOC, 3I >>

Tab. 12 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter	Values	Unit	Setting
Start value	0,10 .. 40,00	$\times I_n$	6
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 200000	ms	200
Operating curve type	1 .. 17 ¹⁾		15
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	1200

¹⁾ Operating curve type 1=ANSI Ext. inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 5=ANSI Def. Time; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 12=IEC Ext. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 13 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

5.3. 22.12 E RX1 – pole č. 4 – Transformátor TM1

Chráněný objekt:

Transformátor TM1, $S_n = 2,5$ MVA, $U_n = 10/0,725$ kV, $I_n = 144/1991$ A

MTP: 200/1/1 A

Ochrana: REF615

Nadproudová ochrana PHLPTOC, 3I >

Jelikož je dovolený jmenovitý proud transformátoru $I_n = 144$ A, nastavíme hodnotu rozběhového proudu na sekundární straně $I_r = 0,72 \times I_n$ ochrany (rozběhový proud na primární straně je $I_r = 0,72 \cdot 200 = 144$ A). Charakteristiku použijeme závislou IEC Normal Inverse s koeficientem $k = 0,6$.

Tab. 14 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 5,00	$\times I_n$	0,72
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		0,6
Operate delay time	40 .. 200000	ms	-
Operating curve type	1 .. 19 ¹⁾		9
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	144

- ¹⁾ Operating curve type
1=ANSI Ext. inv.; 2=ANSI Very inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 4=ANSI Mod. inv.;
5=ANSI Def. Time; 6=L.T.E. inv.; 7=L.T.V. inv.; 8=L.T. inv.; 9=IEC Norm. inv.;
10=IEC Very inv.; 11=IEC inv.; 12=IEC Ext. Inv.; 13=IEC S.T. inv.; 14=IEC L.T. inv.;
15=IEC Def. Time; 17=Programmable; 18=RI type; 19=RD type
- ²⁾ Type of reset curve
1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 15 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		1

- ³⁾ Operation
1=on; 5=off
- ⁴⁾ Num of start phases
1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3
- ⁵⁾ Measurement mode
1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

Zkratová ochrana PHHPTOC, 3I >>

Pro výpočet je potřeba znát průchozí zkrat transformátorem TM1 (str. 43).

$$I_r < \frac{I_{k2min-pruchozi}''}{k_c \cdot p_i} = \frac{1,377 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 200} = 4,59 \text{ A}$$

kde k_c – koeficient citlivosti (volí se na základě praktických zkušeností nejméně 1,5).

Aby nedocházelo k chybnému působení ochrany při zapínacím rázu transformátoru, je nutné zvolit rozběhový proud o něco vyšší. Budeme-li uvažovat zapínací ráz osmi násobek jmenovitého proudu transformátoru ($8 \cdot I_n = 8 \cdot 144 = 1152 \text{ A}$), pak je nutné snížit hodnotu koeficientu citlivosti tak, aby byl rozběhový proud na sekundární straně minimálně $I_r = 5,76 \text{ A}$ (rozběhový proud na primární straně $5,76 \cdot p_i = 5,76 \cdot 200 = 1152 \text{ A}$).

Proto zvolíme hodnotu $k_c = 1,15$.

$$I_r < \frac{I_{k2min-pruchozi}''}{k_c \cdot p_i} = \frac{1,377 \cdot 10^3}{1,15 \cdot 200} \cong 6 \text{ A}$$

Vypínací čas je zvolen s ohledem na selektivní vypínání $t = 0,2 \text{ s}$.

Tab. 16 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

Parameter	Values	Unit	Setting
Start value	0,10 .. 40,00	$\times I_n$	6
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 200000	ms	200
Operating curve type	1 .. 17 ¹⁾		15
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	1200

¹⁾ Operating curve type 1=ANSI Ext. inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 5=ANSI Def. Time; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 12=IEC Ext. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 17 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

5.4. 22.12 E RX1 – pole č. 3 – Rezerva

Parametry nastavení zvoleny podle sousedního pole č. 4 – Transformátor TM1.

MTP: 200/1/1 A

Ochrana: REF615

Nadproudová ochrana PHLPTOC, 3I >

Tab. 18 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 5,00	$\times I_n$	0,72
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		0,6
Operate delay time	40 .. 200000	ms	-
Operating curve type	1 .. 19 ¹⁾		9
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	144

¹⁾ Operating curve type 1=ANSI Ext. inv.; 2=ANSI Very inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 4=ANSI Mod. inv.; 5=ANSI Def. Time; 6=L.T.E. inv.; 7=L.T.V. inv.; 8=L.T. inv.; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 11=IEC inv.; 12=IEC Ext. Inv.; 13=IEC S.T. inv.; 14=IEC L.T. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable; 18=RI type; 19=RD type

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 19 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		1

³⁾ Operation

1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases

1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode

1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

Zkratová ochrana PHHPTOC, 3I >>>

Tab. 20 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter	Values	Unit	Setting
Start value	0,10 .. 40,00	x I_n	6
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 200000	ms	200
Operating curve type	1 .. 17 ¹⁾		15
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	1200

¹⁾ Operating curve type

1=ANSI Ext. inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 5=ANSI Def. Time; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 12=IEC Ext. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable

²⁾ Type of reset curve

1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 21 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		3

³⁾ Operation

1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases

1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode

1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

5.5. 22.12 E RX1 – pole č. 2 – Měření

Napěťové funkce jsou použity pouze pro signalizaci.

Parametry napěťových funkcí jsem zvolil následovně:

Ochrana: REU615

Podpěťová ochrana PHPTUV, 3U <

Tab. 22 – Trojfázová podpěťová ochrana

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 1,20	x U_n	0,8
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	60 .. 300000	ms	1000
Operating curve type	5, 15, 21, 22, 23 ¹⁾		15
Type of reset curve	1, 2, -1 ²⁾		1

¹⁾ Operating curve type 5=ANSI Def. Time; 15=IEC Def. Time; 21=Inv. Curve A; 22=Inv. Curve B; 23=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=DT Lin decr rst

Tab. 23 – Trojfázová podpěťová ochrana

Parameter Non group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	60 .. 60000	ms	60
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Curve parameter A	0,005 .. 200,000		-
Curve parameter B	0,50 .. 100,00		-
Curve parameter C	0,0 .. 1,0		-
Curve parameter D	0,000 .. 60,000		-
Curve parameter E	0,000 .. 3,000		-
Curve Sat relative	0,0 .. 3,0		2
Voltage block value	0,05 .. 1,00	x U_n	0,2
Enable block value	0, 1 ⁵⁾		0
Voltage selection	1 or 2 ⁶⁾		1
Relative hysteresis	1,0 .. 5,0	%	3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Enable block value 0=False; 1=True

⁶⁾ Voltage selection 1=phase-to-earth; 2=phase-to-phase

Přepět'ová ochrana PHPTOV, 3U >

Tab. 24 – Trojfázová přepět'ová ochrana

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 1,60	x U_n	1,2
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 300000	ms	1000
Operating curve type	5,15,17,18,19,20 ¹⁾		15
Type of reset curve	1, 2, -1 ²⁾		1

¹⁾ Operating curve type 5=ANSI Def. Time; 15=IEC Def. Time; 17=Inv. Curve A; 18=Inv. Curve B; 19=Inv. Curve C; 20=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=DT Lin decr rst

Tab. 25 – Trojfázová přepět'ová ochrana

Parameter Non group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	40 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Curve parameter A	0,005 .. 200,000		-
Curve parameter B	0,50 .. 100,00		-
Curve parameter C	0,0 .. 1,0		-
Curve parameter D	0,000 .. 60,000		-
Curve parameter E	0,000 .. 3,000		-
Curve Sat relative	0,0 .. 3,0		2
Voltage selection	1 or 2 ⁵⁾		1
Relative hysteresis	1,0 .. 5,0	%	3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Voltage selection 1=phase-to-earth; 2=phase-to-phase

Přepět'ová ochrana vyhodnocující nulovou složku napětí ROVPTOV, U0 >

Tab. 26 – Přepět'ová ochrana vyhodnocující nulovou složku napětí

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,010 .. 1,000	x U_n	0,2
Operate delay time	40 .. 300000	ms	1000
Parameter Non group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Uo signal Sel	1 or 2 ⁴⁾		1

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Uo signal Sel 1=Measured Uo; 2=Calculated Uo

5.6. 22.12 E RX1 – pole č. 1 – Podélná spojka

Chráněný objekt:

Zařízení spojky

MTP: 1000/1/1 A

Ochrana: REF615

Nadproudová ochrana PHLPTOC, 3I >

$$I_r \geq I_{pmax} \cdot \frac{k_b}{k_p \cdot p_i} = 1000 \cdot \frac{1,1}{0,96 \cdot 1000} = 1,146A$$

kde k_b – koeficient bezpečnosti (volí se v rozmezí 1,1 až 1,35),

k_p – přídržný poměr (typická hodnota digitální ochrany ABB je 0,96),

p_i – jmenovitý převod proudových transformátorů.

Rozběhový proud na sekundární straně je zvolen $I_r = 1,146 \times I_n$ ochrany (rozběhový proud na primární straně je $I_r = 1,146 \cdot 1000 = 1146 A$). Charakteristiku použijeme závislou IEC Normal Inverse s koeficientem $k = 0,3$.

Tab. 27 – Trojfázová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 5,00	x I_n	1,146
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		0,3
Operate delay time	40 .. 200000	ms	-
Operating curve type	1 .. 19 ¹⁾		9
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	1146

¹⁾ Operating curve type
1=ANSI Ext. inv.; 2=ANSI Very inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 4=ANSI Mod. inv.;
5=ANSI Def. Time; 6=L.T.E. inv.; 7=L.T.V. inv.; 8=L.T. inv.; 9=IEC Norm. inv.;
10=IEC Very inv.; 11=IEC inv.; 12=IEC Ext. Inv.; 13=IEC S.T. inv.; 14=IEC L.T. inv.;
15=IEC Def. Time; 17=Programmable; 18=RI type; 19=RD type

²⁾ Type of reset curve
1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 28 – Trojfázová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		1

³⁾ Operation
1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases
1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode
1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

Zkratová ochrana PHHPTOC, 3I >>

$$I_r < \frac{I_{k2min}''}{k_c \cdot p_i} = \frac{4,13 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 1000} = 2,75 \text{ A}$$

kde k_c – koeficient citlivosti (volí se na základě praktických zkušeností nejméně 1,5).

Rozběhový proud na sekundární straně nastavíme na $I_r = 2,3 \times I_n$ ochrany (rozběhový proud na primární straně je $I_r = 2,3 \cdot 1000 = 2300 \text{ A}$). Vypínací čas s ohledem na dodržení časové selektivity zvolíme $t = 0,3 \text{ s}$.

Tab. 29 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

Parameter	Values	Unit	Setting
Start value	0,10 .. 40,00	$\times I_n$	2,3
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 200000	ms	300
Operating curve type	1 .. 17 ¹⁾		15
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	2300

¹⁾ Operating curve type 1=ANSI Ext. inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 5=ANSI Def. Time; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 12=IEC Ext. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 30 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

5.7. 22.12 E RX2 – pole č. 2 – Měření

Napětíové funkce jsou použity pouze pro signalizaci.

Parametry napětíových funkcí jsem zvolil následovně:

Ochrana: REU615

Podpětíová ochrana PHPTUV, 3U <

Tab. 31 – Trojfázová podpětíová ochrana

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 1,20	x U_n	0,8
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	60 .. 300000	ms	1000
Operating curve type	5, 15, 21, 22, 23 ¹⁾		15
Type of reset curve	1, 2, -1 ²⁾		1

¹⁾ Operating curve type 5=ANSI Def. Time; 15=IEC Def. Time; 21=Inv. Curve A; 22=Inv. Curve B; 23=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=DT Lin decr rst

Tab. 32 – Trojfázová podpětíová ochrana

Parameter Non group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	60 .. 60000	ms	60
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Curve parameter A	0,005 .. 200,000		-
Curve parameter B	0,50 .. 100,00		-
Curve parameter C	0,0 .. 1,0		-
Curve parameter D	0,000 .. 60,000		-
Curve parameter E	0,000 .. 3,000		-
Curve Sat relative	0,0 .. 3,0		2
Voltage block value	0,05 .. 1,00	x U_n	0,2
Enable block value	0, 1 ⁵⁾		0
Voltage selection	1 or 2 ⁶⁾		1
Relative hysteresis	1,0 .. 5,0	%	3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Enable block value 0=False; 1=True

⁶⁾ Voltage selection 1=phase-to-earth; 2=phase-to-phase

Přepět'ová ochrana PHPTOV, 3U >

Tab. 33 – Trojfázová přepět'ová ochrana

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 1,60	x U_n	1,2
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 300000	ms	1000
Operating curve type	5,15,17,18,19,20 ¹⁾		15
Type of reset curve	1, 2, -1 ²⁾		1

¹⁾ Operating curve type 5=ANSI Def. Time; 15=IEC Def. Time; 17=Inv. Curve A; 18=Inv. Curve B; 19=Inv. Curve C; 20=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=DT Lin decr rst

Tab. 34 – Trojfázová přepět'ová ochrana

Parameter Non group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	40 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Curve parameter A	0,005 .. 200,000		-
Curve parameter B	0,50 .. 100,00		-
Curve parameter C	0,0 .. 1,0		-
Curve parameter D	0,000 .. 60,000		-
Curve parameter E	0,000 .. 3,000		-
Curve Sat relative	0,0 .. 3,0		2
Voltage selection	1 or 2 ⁵⁾		1
Relative hysteresis	1,0 .. 5,0	%	3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Voltage selection 1=phase-to-earth; 2=phase-to-phase

Přepět'ová ochrana vyhodnocující nulovou složku napětí ROVPTOV, U0 >

Tab. 35 – Přepět'ová ochrana vyhodnocující nulovou složku napětí

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,010 .. 1,000	x U_n	0,2
Operate delay time	40 .. 300000	ms	1000
Parameter Non group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Uo signal Sel	1 or 2 ⁴⁾		1

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Uo signal Sel 1=Measured Uo; 2=Calculated Uo

5.8. 22.12 E RX2 – pole č. 3 – Transformátor TS1

Chráněný objekt:

Transformátor TS1, $S_n = 630$ kVA, $U_n = 10/0,42$ kV, $I_n = 36,4/866$ A

MTP: 150/1/1 A

Ochrana: REF615

Nadproudová ochrana PHLPTOC, 3I >

Jelikož je dovolený jmenovitý proud transformátoru $I_n = 36,4$ A, nastavíme hodnotu rozběhového proudu na sekundární straně $I_r = 0,24 \times I_n$ ochrany (rozběhový proud na primární straně je $I_r = 0,24 \cdot 150 = 36$ A). Charakteristiku použijeme závislou IEC Normal Inverse s koeficientem $k = 0,6$.

Tab. 36 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 5,00	$\times I_n$	0,24
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		0,6
Operate delay time	40 .. 200000	ms	-
Operating curve type	1 .. 19 ¹⁾		9
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	36

¹⁾ Operating curve type
 1=ANSI Ext. inv.; 2=ANSI Very inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 4=ANSI Mod. inv.;
 5=ANSI Def. Time; 6=L.T.E. inv.; 7=L.T.V. inv.; 8=L.T. inv.; 9=IEC Norm. inv.;
 10=IEC Very inv.; 11=IEC inv.; 12=IEC Ext. Inv.; 13=IEC S.T. inv.; 14=IEC L.T. inv.;
 15=IEC Def. Time; 17=Programmable; 18=RI type; 19=RD type

²⁾ Type of reset curve
 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 37 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		1

³⁾ Operation
 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases
 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode
 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

Zkratová ochrana PHHPTOC, 3I >>

Pro výpočet je potřeba znát průchozí zkrat transformátorem TS1 (str. 43).

$$I_r < \frac{I_{k2min-pruchozi}''}{k_c \cdot p_i} = \frac{462}{1,5 \cdot 150} = 2,05 \text{ A}$$

kde k_c – koeficient citlivosti (volí se na základě praktických zkušeností nejméně 1,5).

Rozběhový proud na sekundární straně tedy nastavíme $I_r = 2,05 \times I_n$ ochrany (rozběhový proud na primární straně je $I_r = 2,05 \cdot 150 = 307,5 \text{ A}$). Vypínací čas s ohledem na selektivní vypínání je zvolen $t = 0,2 \text{ s}$.

Tab. 38 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

Parameter	Values	Unit	Setting
Start value	0,10 .. 40,00	x I_n	2,05
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 200000	ms	200
Operating curve type	1 .. 17 ¹⁾		15
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	307,5

¹⁾ Operating curve type 1=ANSI Ext. inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 5=ANSI Def. Time; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 12=IEC Ext. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 39 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

5.9. 22.12 E RX2 – pole č. 4 – Transformátor TM2

Chráněný objekt:

Transformátor TM2, $S_n = 2,5 \text{ MVA}$, $U_n = 10/0,725 \text{ kV}$, $I_n = 144/1991 \text{ A}$

MTP: 200/1/1 A

Ochrana: REF615

Jelikož jsou parametry transformátorů TM1 a TM2 shodné, nastavíme transformátor TM2 stejně jako transformátor TM1.

Nadproudová ochrana PHLPTOC, 3I >

Tab. 40 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 5,00	$\times I_n$	0,72
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		0,6
Operate delay time	40 .. 200000	ms	-
Operating curve type	1 .. 19 ¹⁾		9
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	144

¹⁾ Operating curve type
1=ANSI Ext. inv.; 2=ANSI Very inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 4=ANSI Mod. inv.;
5=ANSI Def. Time; 6=L.T.E. inv.; 7=L.T.V. inv.; 8=L.T. inv.; 9=IEC Norm. inv.;
10=IEC Very inv.; 11=IEC inv.; 12=IEC Ext. Inv.; 13=IEC S.T. inv.; 14=IEC L.T. inv.;
15=IEC Def. Time; 17=Programmable; 18=RI type; 19=RD type

²⁾ Type of reset curve
1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 41 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		1

³⁾ Operation
1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases
1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode
1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

Zkratová ochrana PHHPTOC, 3I >>

Tab. 42 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter	Values	Unit	Setting
Start value	0,10 .. 40,00	$\times I_n$	6
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 200000	ms	200
Operating curve type	1 .. 17 ¹⁾		15
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	1200

¹⁾ Operating curve type
1=ANSI Ext. inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 5=ANSI Def. Time; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC
Very inv.; 12=IEC Ext. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable

²⁾ Type of reset curve
1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 43 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

5.10. 22.12 E RX2 – pole č. 5 – Rezerva

Parametry nastavení zvoleny podle sousedního pole č. 4 – Transformátor TM2.

MTP: 200/1/1 A

Ochrana: REF615

Nadproudová ochrana PHLPTOC, 3I >

Tab. 44 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 5,00	x I_n	0,72
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		0,6
Operate delay time	40 .. 200000	ms	-
Operating curve type	1 .. 19 ¹⁾		9
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	144

¹⁾ Operating curve type 1=ANSI Ext. inv.; 2=ANSI Very inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 4=ANSI Mod. inv.; 5=ANSI Def. Time; 6=L.T.E. inv.; 7=L.T.V. inv.; 8=L.T. inv.; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 11=IEC inv.; 12=IEC Ext. Inv.; 13=IEC S.T. inv.; 14=IEC L.T. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable; 18=R1 type; 19=RD type

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 45 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		1

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

Tab. 46 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter	Values	Unit	Setting
Start value	0,10 .. 40,00	$\times I_n$	6
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 200000	ms	200
Operating curve type	1 .. 17 ¹⁾		15
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	1200

¹⁾ Operating curve type 1=ANSI Ext. inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 5=ANSI Def. Time; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC Very inv.; 12=IEC Ext. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable

²⁾ Type of reset curve 1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 47 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

5.11. 22.12 E RX2 – pole č. 6 – Přívod z rozv. 41.03RX2 – pole č. 3

Chráněný objekt:

Kabel Al 2x3x240 mm², $I_{dov} = 660$ A

MTP: 400/1/1 A

Ochrana: REF615

Jelikož jsou parametry přívodů z rozvoden 41.03RX2 a 41.03RX1 shodné, nastavíme oba přívody stejně.

Nadproudová ochrana PHLPTOC, 3I >

Tab. 48 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Group settings	Values	Unit	Setting
Start value	0,05 .. 5,00	$\times I_n$	1,1
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		0,4
Operate delay time	40 .. 200000	ms	-
Operating curve type	1 .. 19 ¹⁾		9
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	440

¹⁾ Operating curve type
1=ANSI Ext. inv.; 2=ANSI Very inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 4=ANSI Mod. inv.;
5=ANSI Def. Time; 6=L.T.E. inv.; 7=L.T.V. inv.; 8=L.T. inv.; 9=IEC Norm. inv.;
10=IEC Very inv.; 11=IEC inv.; 12=IEC Ext. Inv.; 13=IEC S.T. inv.; 14=IEC L.T. inv.;
15=IEC Def. Time; 17=Programmable; 18=RI type; 19=RD type

²⁾ Type of reset curve
1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 49 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		1

³⁾ Operation
1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases
1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode
1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

Zkratová ochrana PHHPTOC, 3I >>

Tab. 50 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřiditelnosti

Parameter	Values	Unit	Setting
Start value	0,10 .. 40,00	$\times I_n$	6
Start value Mult	0,8 .. 10,0		1
Time multiplier	0,05 .. 15,00		-
Operate delay time	40 .. 200000	ms	400
Operating curve type	1 .. 17 ¹⁾		15
Type of reset curve	1 .. 3 ²⁾		1
Real values current	-	A	2400

¹⁾ Operating curve type
1=ANSI Ext. inv.; 3=ANSI Norm. inv.; 5=ANSI Def. Time; 9=IEC Norm. inv.; 10=IEC
Very inv.; 12=IEC Ext. inv.; 15=IEC Def. Time; 17=Programmable

²⁾ Type of reset curve
1=Immediate; 2=Def. time reset; 3=Inverse reset

Tab. 51 – Trojfázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším rozsahem seřaditelnosti

Parameter Non Group settings	Values	Unit	Setting
Operation	1 or 5 ³⁾		1
Num of start phases	1 .. 3 ⁴⁾		1
Minimum operate time	20 .. 60000	ms	40
Reset delay time	0 .. 60000	ms	20
Measurement mode	1 .. 3 ⁵⁾		3

³⁾ Operation 1=on; 5=off

⁴⁾ Num of start phases 1=1 out of 3; 2=2 out of 3; 3=3 out of 3

⁵⁾ Measurement mode 1=RMS; 2=DFT; 3=Peak-to-Peak

5.12. Kontrola přívodů z rozvoden 41.03RX1 a 41.03RX2 na oteplení při zkratu

Parametry přívodů:

kabel Al 2x3x240 mm², $l = 100$ m, $R_k = 0,129 \Omega/\text{km}$, $X_k = 0,082 \Omega/\text{km}$

Budeme uvažovat elektricky vzdálený zkrat. Součinitel n pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu je tedy $n = 1$. Součinitel m pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu se určí z následujícího vztahu:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \left[e^{4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1 \right] = 0,007$$

$$\text{kde} \quad \kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R / X} = 1,03$$

Jelikož mají oba přívody shodné parametry, je uveden výpočet pouze pro jeden přívod.

Ekvivalentní oteplovací proud I_{th}

$$I_{th} = I_{k3 \max}'' \cdot \sqrt{m + n} = 26,26 \cdot \sqrt{0,007 + 1} = 26,35 \text{ kA}$$

Maximální čas odepnutí zkratu:

$$t_{\max} \leq \left(\frac{K \cdot S}{I_{th}} \right)^2 \leq \left(\frac{75 \cdot 2 \cdot 240}{26,35 \cdot 10^3} \right)^2 \leq 1,87 \text{ s}$$

kde S – průřez vodiče,

K – koeficient pro výpočet oteplení při zkratu (příloha C).

Oba přívody z rozvoden 41.03RX1 a 41.03RX2 vyhovují průřezem na oteplení při zkratu, neboť čas zapůsobení ochrany je nižší, než vypočítaný ($0,4 \text{ s} < 1,87 \text{ s}$).

Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh a vhodný způsob nastavení ochran pro rozvodny vn průmyslového podniku.

V úvodu práce jsou uvedeny teoretické poznatky k elektrickým ochranám. Jsou zde shrnuty poruchové stavy, které se mohou v elektrizační soustavě vyskytnout, dále popis základních členů ochran, rozdělení ochran podle kritérií a popis nadproudových ochran včetně jejich charakteristik a jednoduchých blokových schémat.

Následující kapitola se zabývá teoretickým rozbořem a zásadami pro výpočet zkratových poměrů. Při respektování těchto zásad se lze dopočítat výsledků přijatelné přesnosti. Výpočet zkratových poměrů je nezbytný pro správné nastavení ochran na rozvodně. Z hlediska nastavení ochran na nejmenší možný zkratový proud musíme znát minimální dvoufázový zkratový proud. Pro kontrolu zařízení na oteplení zase maximální trojfázový rázový zkratový proud.

Třetí kapitola popisuje použité ochrany pro chránění. Byly vybrány ochrany REF615 a REU615. Tyto ochrany patří k výrobkům produktové řady 615 skupiny Relion[®] firmy ABB určené pro chránění a ovládání.

Čtvrtá kapitola se již zabývá výpočtem zkratových poměrů na rozvodně. Výpočet maximálních zkratových poměrů je proveden pro provozní variantu A (*Obr. 14*). Po postupném zjednodušování a výpočtu celkové absolutní impedance zkratového obvodu je hodnota maximálního trojfázového zkratového proudu $I''_{k3\max} = 26,26 \text{ kA}$. Výpočet minimálních zkratových poměrů je proveden pro provozní variantu B (*Obr. 20*). Nejnižší hodnota dvoufázového zkratového proudu byla vypočítána pro místo zkratu 2, a to $I''_{k2\min} = 4,13 \text{ kA}$. Pro nastavení ochran transformátorů na rozvodnách 22.12 E RX1 a 22.12 E RX2 bylo potřeba vypočítat minimální dvoufázové průchozí zkratové proudy. Pro transformátory TM1 a TM2 vyšlo výpočtem $I''_{k2\min-\text{pruchozi}} = 1,377 \text{ kA}$. Pro transformátor TS1 vyšlo výpočtem $I''_{k2\min-\text{pruchozi}} = 0,462 \text{ kA}$.

V páté kapitole následuje výpočet parametrů pro nastavení nadproudových a zkratových funkcí ochran. Pro ochranu před přetížením je použita funkce PHLPTOC, $3I >$ a pro ochranu před zkraty funkce PHHPTOC, $3I >>$. Nastavení ochran přívodů na rozvodny 22.12 E RX1 22.12 E RX2 zohledňuje nastavení nadřazených ochran z důvodu selektivního působení ochran. Nastavení parametrů ochran na jednotlivých polích je uvedeno v tabulkách u výpočtů (*Tab. 6 - Tab. 51*). Poslední částí práce je kontrola průřezu přívodů na oteplení při zkratu. Výpočtem bylo zjištěno, že oba přívody vyhovují svým průřezem na oteplení při zkratu, neboť čas reakce ochrany je nižší, než vypočítaný.

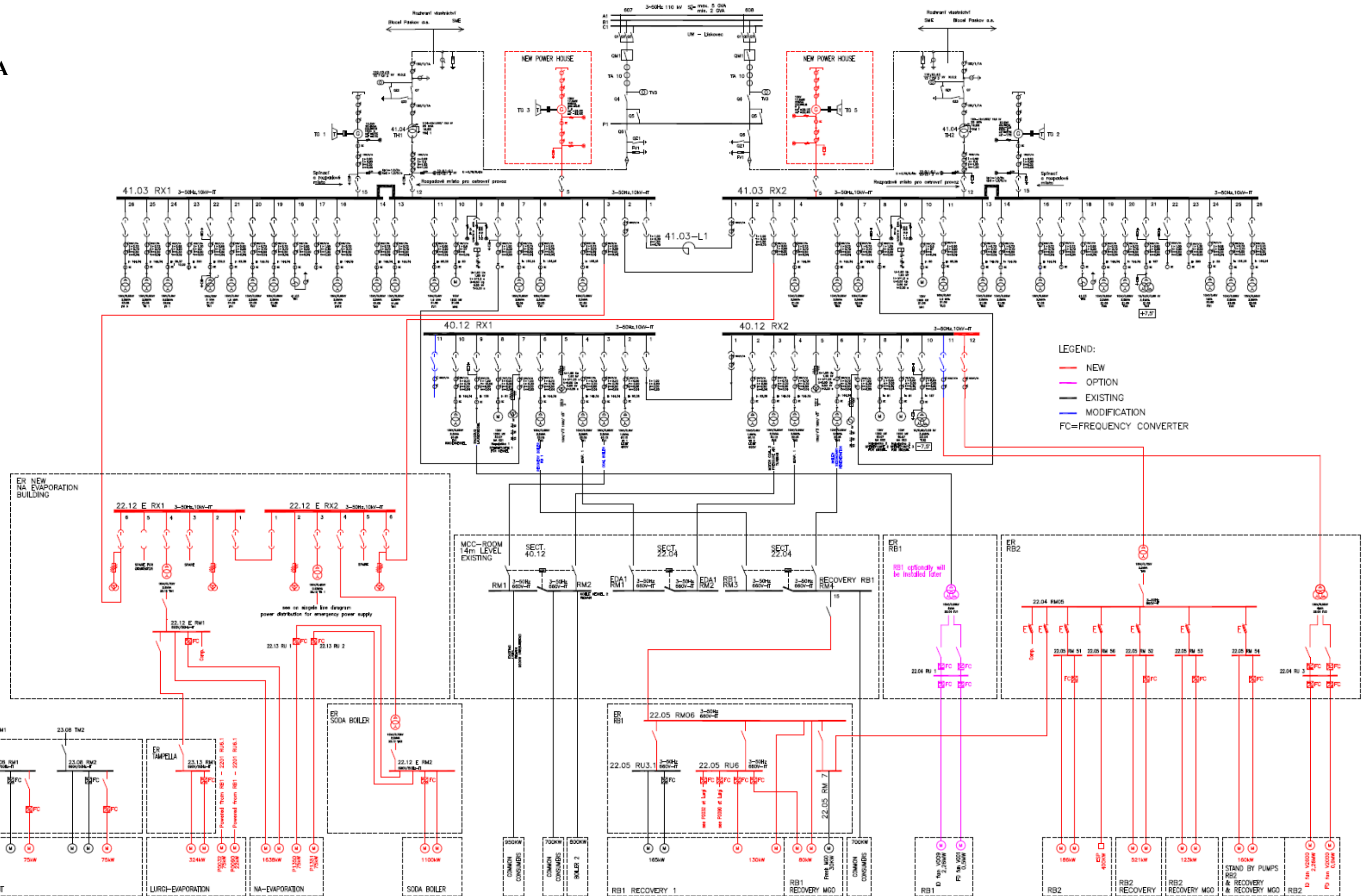
Literatura

- [1] ČSN EN 60909-0: Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách, Květen 2002
- [2] HRADÍLEK, Z.: Elektroenergetika II., Skriptum VŠB Ostrava, 1993.
- [3] GRYM, R.: Chránění II, 1. vyd. Havířov: IRIS, 2004. 305 s. ISBN 80-903540-0-9
- [4] HALUZÍK, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích, Skriptum VUT Brno, 1985.
- [5] HRADÍLEK, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí, Skriptum VŠB Ostrava, 2008.
- [6] ELEKTRIKA.CZ, spol. s r.o., *Elektrika.cz, portál o silnoproudé elektrotechnice, elektroinstalace, vyhlášky, schémata zapojení* [online]. [cit.2013-04-17], <<http://elektrika.cz/>>
- [7] JANÍČEK, F., CHLADNÝ, V. a kol.: Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave, STU Bratislava, 2004.
- [8] BERÁNEK, E.: Bakalářská práce – Výpočet zkratových proudů ve trojfázových střídavých soustavách dle ČSN EN 60909, 2011
- [9] MEDVEC, Z.: Ochrany a automatiky v rozvodu, přednášky VŠB Ostrava, 2012.
- [10] DOHNÁLEK, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
- [11] Popis a technická data výrobku, IED pro chránění a ovládání vývodu REF615, ABB, 18. 2. 2011
- [12] Popis a technická data výrobku, IED pro napět'ové chránění a ovládání REU615, ABB, 7. 3. 2011

Přílohy

Příloha A:	Jednopolové schéma Biocel Paskov
Příloha B:	Databáze prvků soustavy
Příloha C:	Koeficient K

Příloha A



LEGEND:

- NEW
- OPTION
- EXISTING
- MODIFICATION
- FC=FREQUENCY CONVERTER

LAG - BOKOL PASKOV A.S.

MILLWIDE

LENZING
TECHNICAL
A-4860 LENZING - AUSTRIA

SINGLE LINE DIAGRAM

E-POWER SUPPLY

551

ADDITIONAL CLASSIFICATION

PLANT CLASSIFICATION

DRAWING NO.

REV.

1

ANL

192318

4

12

11

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Příloha B

Databáze transformátorů

41.03 RX1

označení	S_n	U_{n1}	U_{n2}	u_k
[-]	[MVA]	[kV]	[kV]	[%]
TH1	25	110	10,5	16,8

41.03 RX2

označení	S_n	U_{n1}	U_{n2}	u_k
[-]	[MVA]	[kV]	[kV]	[%]
TH2	25	110	10,5	16,8

22.12 RX1

označení	S_n	U_{n1}	U_{n2}	u_k
[-]	[MVA]	[kV]	[kV]	[%]
TM1	2,5	10	0,725	6

22.12 RX2

označení	S_n	U_{n1}	U_{n2}	u_k
[-]	[MVA]	[kV]	[kV]	[%]
TM2	2,5	10	0,725	6
TS1	0,63	10	0,42	6

Databáze syn. motorů a generátorů

41.03 RX1

označení	S_n	U_n	x_d''
[-]	[MVA]	[kV]	[%]
MA2	1,16	10	12,8
TG1	25,4	10,5	16,5

41.03 RX2

označení	S_n	U_n	x_d''
[-]	[MVA]	[kV]	[%]
MA	1,16	10	12,8
TG2	25,4	10,5	16,5

Databáze reaktorů

41.03 RX1

označení	I_n	U_n	u_r
[-]	[A]	[kV]	[%]
R	1000	10	7,19

Databáze asyn. motorů vn

20.06 RX1

označení	P_n	U_n	I_n	i_z
[-]	[MW]	[kV]	[A]	[x I_n M]
MA021	0,54	10	37	5
MA022	0,54	10	37	5
MA087	0,8	10	67	5
MA026	0,9	10	62	5
MA088	0,8	10	67	5
MA027	0,5	10	35	5

40.12 RX1

označení	P_n	U_n	I_n	i_z
[-]	[MW]	[kV]	[A]	[x I_n M]
MA21	1,2	10	81	5

40.12 RX2

označení	P_n	U_n	I_n	i_z
[-]	[MW]	[kV]	[A]	[x I_n M]
MA22	1,2	10	81	5

Databáze kabelů

41.03 RX1

do	typ	průřez	počet	délka	R_k	X_k
[-]	[-]	[mm ²]	[-]	[m]	[Ω/km]	[Ω/km]
40.12 RX1	10-AYKTCY	3x240	2	50	0,125	0,097
TH1	10-CYKCY	3x400	4	20	0,047	0,088
TG1	10-CYKCY	3x500	2	60	0,0366	0,0855
22.12 E RX1	Al	3x240	2	100	0,129	0,082

41.03 RX2

do	typ	průřez	počet	délka	R_k	X_k
[-]	[-]	[mm ²]	[-]	[m]	[Ω/km]	[Ω/km]
40.12 RX2	10-AYKTCY	3x240	2	50	0,125	0,097
TH2	10-CYKCY	3x400	4	20	0,047	0,088
TG2	10-CYKCY	3x500	2	60	0,0366	0,0855
20.06 RX1	10-AYKTCY	3x240	2	480	0,125	0,097
22.12 E RX2	Al	3x240	2	100	0,129	0,082

Hodnoty R_k a X_k platí pro počet kabelů 1

Příloha C

Tab. 52 – Koeficient K pro určení minimálního průřezu vodičů podle oteplení při zkratu

druh izolace	napětí	značka	K		
			Cu	Al	Fe
	(kV)	(-)	(-)	(-)	(-)
napuštěný papír	do 6 kV	N	127	84	-
	do 10 kV		130	86	-
	22 kV		108	71	-
polyvinylchlorid	do 10 kV	Y	113	75	-
síťovaný polyetylén	do 30 kV	X	141	93	-
holé vodiče mechanicky nezatížené			152	107	-
holé vodiče mechanicky zatížené			119	84	-
ocel mechanicky nezatížená			-	-	59
ocel mechanicky zatížená			-	-	53